



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.



Fachhochschule  
Bonn-Rhein-Sieg

---

## **Diplomarbeit**

# **Entwicklung und experimentelle Validierung einer Marssimulationsanlage für astrobiologische Experimente**

**David Heuskin**

**Matrikelnummer: 900 6369**

**Eingereicht am: 4. Juli 2008**

**david.heuskin@smail.emt.fh-brs.de**

**Prof. Dr. Klaus Wetteborn**

**Auf der Ley 3, 53773 Hennef**

**Prof. Dr. Roustiam Chakirov**

**Tel: 02248/445783**

**Dipl. Ing. Marc Engelhardt (Msc)**

# **1 Erklärung**

**Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt zu haben.**

**Die verwendete Literatur und sonstige Hilfsmittel sind vollständig angegeben.**

**Hennef, 4. Juli 2008**

**David Heuskin**

-----

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>Kapitel/Seite</b>
<b>1 Erklärung .....</b>	<b>2</b>
<b>2 Kurzfassung .....</b>	<b>2-5</b>
<b>3 Abstract .....</b>	<b>3-7</b>
<b>4 Einleitung .....</b>	<b>4-8</b>
<b>5 Der Mars- Ein Portrait .....</b>	<b>5-14</b>
<b>6 Grundlagen.....</b>	<b>6-19</b>
6.1 Anforderungen an die Experimentierkammer .....	6-19
<b>7 Aufbau der Experimentierkammer .....</b>	<b>7-21</b>
7.1 Prinzipieller Aufbau.....	7-21
7.2 Rezipient .....	7-23
7.3 Vakuum.....	7-23
7.4 Druckmessung bis $1 \times 10^{-10}$ mbar .....	7-26
7.4.1 Pirani-Messsystem .....	7-27
7.4.2 Bayard-Alpert-Messsystem .....	7-27
7.5 Druckmessung zwischen 0,1 und 1000 mbar .....	7-28
7.5.1 Sensor .....	7-28
7.6 Temperaturerfassung .....	7-30
7.7 Temperierung.....	7-32
<b>8 Grundlagen der Feuchtemessung.....</b>	<b>8-34</b>
8.1 Feuchtemessung.....	8-37
8.2 Wasserkonzentration.....	8-38
<b>9 Elektromagnetische Vakuumventile.....</b>	<b>9-41</b>
<b>10 Labview.....</b>	<b>10-42</b>
10.1 Programmiersprache .....	10-43
10.2 Datenkommunikation.....	10-43
10.3 Regelung .....	10-45
<b>11 Validierung .....</b>	<b>11-48</b>
<b>12 Ausblick.....</b>	<b>12-50</b>
<b>13 Anhang A Arbeitsanweisung .....</b>	<b>13-53</b>

<b>14</b>	<b>Anhang B.....</b>	<b>14-57</b>
14.1	Konstruktionszeichnungen.....	14-57
14.2	Elektrische Schaltpläne.....	14-59
14.3	Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).....	14-60
<b>15</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>15-61</b>
<b>16</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>16-63</b>
<b>17</b>	<b>Formelverzeichnis .....</b>	<b>17-64</b>

## **2      Kurzfassung**

Die Anforderungen an die Diplomarbeit bestanden im Aufbau einer Experimentierkammer in der marsähnliche Umweltbedingungen erzeugt werden können. Vordergründig wird die Atmosphärenzusammensetzung sowie der Druck, die Temperatur und der Feuchtegehalt simuliert. Hierauf aufbauend wurde eine Regelung entworfen, durch die alle Umweltparameter gemessen und direkt beeinflusst werden können.

Ziel der Arbeit war es, eine Experimentierkammer aufzubauen, in der im späteren Verlauf Probenbehälter mit Mikroorganismen eingesetzt werden können. Anhand deren Stoffwechselprodukte soll herausgefunden werden, ob Mikroorganismen unter derart extremen Bedingungen überlebensfähig sind und aktiv metabolisieren können.

Zentraler Teil der Marssimulationskammer ist ein Hochvakuumrezipienten, in den die späteren Proben eingesetzt werden können, und der über zwei Vakuumpumpen evakuiert werden kann.

Durch Vakuummessgeräte wird der Unterdruck der Experimentierkammer gemessen und über Messgeräte angezeigt. Ein vakuumtauglicher Feuchtesensor registriert die im Innern der Kammer vorherrschende Feuchtigkeit, PT-100 Widerstandsthermometer lesen die Temperatur aus. Zusätzlich sind alle Messgeräte an eine Datenerfassungskarte angeschlossen, die die Signale an einen Steuerrechner weiterleitet .

Die in Labview programmierte Regelungssoftware gibt die ausgelesenen Parameter auf dem Bildschirm aus und übernimmt die gesamte Druckregelung. Anhand der Regelsoftware können auch Druckschwankungen in Zyklen programmiert werden, die denen auf dem Mars entsprechen.

Die Regelung erfolgt über zwei elektromagnetische Vakuumventile, die ebenfalls an die NI-Karte angeschlossen sind.

Der gewünschte Wasseranteil wird manuell in die Atmosphäre eingebracht. Dies geschieht über ein Wasserreservoir, über das Wasser in die Anlage hineinströmt, und das über ein Handventil, bei gewünschter Wasserkonzentration, wieder verschlossen werden kann.

Die Temperaturregelung der Marskammer wird über einen externen und programmierbaren Kryostaten gewährleistet. Dieser ist an eine Kupferspirale im Innern der Kammer angeschlossen, die die eingestellte Temperatur zuverlässig an den Experimentierraum weitergibt.

### **3 Abstract**

The requirements of the diploma thesis consisted in building an experimentation chamber capable of producing Mars-like environmental conditions. The main focus resided in simulating the composition of the atmosphere, as well as its pressure, temperature and humidity. On the basis of this data, a regulating device was designed in order to measure and directly influence the environmental parameters.

The aim of the thesis was to build a chamber which could later accommodate sample bowls with micro-organisms. Based on the products of their metabolism, one should be able to deduct whether or not micro-organisms can survive and metabolise under such extreme conditions. The main element of the Mars simulation chamber is a high-vacuum chamber, capable of accommodating the samples, and which can be evacuated via two vacuum pumps. A vacuum measurement device gauges the low pressure within the chamber and displays the results on the dials. A humidity sensor, capable of resisting vacuum conditions, registers the humidity within the chamber whereas PT-100 resistance thermometers show the temperature. Additionally, all measurement devices are connected to a data reception card that forwards them to a controlling processor.

The control software, programmed in Labview, displays the received parameters on the screen and takes over the whole pressure regulation. With the help of this control software, cyclical pressure fluctuations, consistent with those on Mars, can be programmed as well. The regulation is carried out by two electromagnetic vacuum valves that are also connected to the NI-card. The desired amount of water is introduced manually into the atmosphere using a reservoir that leads water into the system and which can be closed by a hand valve once the designated water concentration has been achieved. The temperature regulation in the Mars chamber is controlled with a programmable external cryostat, attached to a copper spiral inside the chamber that reliably forwards the appointed temperature to the experimentation chamber.

## 4 Einleitung

Bereits vor mehr als 3500 Jahren war der Mars den Ägyptern bekannt doch erst 300 v. Chr. stellte Aristoteles fest, dass der Mond sich näher an der Erde befindet als der planer Mars. Im Jahre 1609 beobachtete Galileo Galilei zum ersten Mal mit einem Teleskop den Mars und kurze Zeit später errechnete C. Huygens mit hoher Genauigkeit den Durchmesser und die Tageslänge des Planeten. Erst im Jahre 1666 gelingt es Giovanni Domenico Cassini die Polkappen als weiße Eiskappen zu bestimmen. Als erste Sonde flog *Mariner4* 1965 am Mars vorbei und lieferte die ersten 22 Nahaufnahmen des roten Planeten. 1971 landet die sowjetische *Mars3* als erste Sonde auf dem Mars, jedoch brach nach 20 Sekunden der Funkkontakt ab. Großes Aufsehen erregte im Jahr 1997 die Pathfinder-Mission die 16000 Bilder aus der Umgebung der Landestelle lieferte. Die detaillierten Bilder die Pathfinder dank seiner Kamera zur Erde funkte, zeigen eine Landschaft, die den Steinwüsten der Erde sehr ähnlich ist.

Mit der ESA-Sonde *Mars Express*, die 2003 startete und immer noch in der Marsumlaufbahn arbeitet, erreichte die europäische Marsforschung ihren bisherigen Höhepunkt.

Eine der am häufigsten diskutierten Frage der Menschheit beschäftigt sich damit, ob die Menschheit alleine im Universum ist, oder ob es „da draußen“ noch anderes, möglicherweise intelligentes Leben gibt.

Viele Dichter und Philosophen waren von Leben auf anderen Planeten überzeugt. Kant philosophierte in seinem Werk „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ über ein Intelligenzgefälle in unserem Sonnensystem und stützte sich dabei auf die Vermutung, dass die Bewohner der äußeren Planeten intelligenter seien als auf dem sonnenverwöhnten Merkur, da ihr täglicher Überlebenskampf wesentlich härter sei.



Inzwischen sind wir jedoch zu der Überzeugung gelangt, dass es in unserem Sonnensystem kein weiteres intelligentes oder höher entwickeltes Leben gibt.

Trotzdem bleibt die Frage nach primitivem Leben in unserm Sonnensystem weiterhin unbeantwortet.

In den Planetary and Space Simulation Facilities der Abteilung Strahlenbiologie des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln-Porz wurden im Rahmen der Vorbereitung von Weltraumexperimenten und als parallele Bodenkontrollen Dauerformen verschiedener Mikroorganismen den simulierten Weltraumparametern wie Vakuum, Temperaturschwankungen und UV-Strahlung ausgesetzt und erforscht [1]. Die Mikroorganismen wurden dabei auf ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber diesen Bedingungen untersucht, d. h. neben Untersuchungen von Veränderungen auf molekularer Ebene (Photoproduktanalysen, Mutationsanalysen, Basen- und Strangbruchschäden der DNA usw.) wurde das Überleben der Mikroorganismen nach ihrer Exposition in Dauerform, wie z. B. Sporen bei Bakterien, „Tönchen“ bei Bärentierchen, Samen bei Pflanzen, untersucht. Während der Exposition zeigten die Testorganismen folglich keine Stoffwechselfunktionen und keine Vermehrung. Es konnte aber bei diesen Experimenten gezeigt werden, dass eine Reihe sehr resistenter Dauerformen durchaus die applizierten Bedingungen mit Hilfe verschiedener Strategien überleben.

Um die Basis für solche Experimente und Untersuchungen zu schaffen, ist es notwendig, geeignete Simulationsanlagen inklusive der dazugehörigen Analyseapparaturen zu errichten, sowie für erste Experimente geeignete Mikroorganismen zu bestimmen. Diese Organismen müssen in metabolisch aktiver Form resistent gegen Trockenheit, Kälte und kurzwellige UV-Strahlung sein sowie wenig bis keinen Sauerstoff benötigen. Darüber hinaus müssen deren Stoffwechselprodukte zum Nachweis des aktiven Stoffwechsels für die in dieser Arbeit zu verifizierenden Analysemethoden geeignet sein.

Das Ziel der Diplomarbeit bestand folglich in der Konzeption, dem Neuaufbau und der rechnergestützten Regelung einer Marssimulationsanlage für astrobiologische Experimente auf Basis der Planetary and Space Simulation Facilities zur Detektion möglicher metabolischer Funktionen von Mikroorganismen in simulierten Marsbedingungen.

Die Diplomarbeit wurde in Kooperation mit dem Institut für Materialwissenschaft im Weltraum sowie dem Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt durchgeführt.

Das gesamte Experiment ist in einen biologischen und in einen ingenieurtechnischen Arbeitsbereich unterteilt. Die Diplomarbeit deckt den ingenieurtechnischen Arbeitsbereich ab, auf den im Anschluss der biologische Teil aufbauen kann.

Der ingenieurtechnische Teil umfasst den für die Diplomarbeit relevanten Aufbau und die rechnergestützte Regelung einer Kammer zur Simulation der auf dem Mars angenommenen Wassermenge, deren Aggregatzustände und Wasserverfügbarkeit. Auch andere Mars-Umweltparameter wie Atmosphärenzusammensetzung, Druck und Temperaturschwankungen sollten technisch in dieser Kammer realisiert werden, um den Stoffwechsel der Testorganismen analysierbar und möglichst auch quantifizierbar zu machen. Hierbei stellten Auswahl, Integration sowie gegebenenfalls Konstruktion geeigneter Sensoren, vakuumtauglicher Bauteile und Regeltechnik einen erheblichen Anteil der Arbeit dar.

Die im Rahmen dieser Arbeit aufgebaute Anlage bietet die Möglichkeit Druck, Temperatur, Feuchtigkeit und vor allem auch die Zusammensetzung der Marsatmosphäre in der Kammer simulieren zu können. Hierauf können nun die biologischen Experimente aufbauen. Dies verbindet sowohl biologische als auch physikalische Themen: neben der theoretischen Erarbeitung des Experimentaufbaus ist auch die technische Durchführung einiger biologischer Experimente mit ausgesuchten Mikroorganismen unter Verwendung und Anpassung der bereits vorhandenen Anlagen vorgesehen.

Für zukünftige geplante Experimente sowie für die Frage der Entstehung des Lebens generell und der möglichen Verbreitung des Lebens in unserem Sonnensystem, ist es nun von großem Interesse, herauszufinden, inwieweit irdische, sehr resistente Mikroorganismen unter den extremen, simulierten Bedingungen z. B. von unserem Nachbarplanet Mars, nicht nur überleben, sondern auch aktiv metabolisieren können.

Bestimmte Mikroorganismen, sind extrem anpassungsfähig als auch widerstandsfähig und werden demnach als so genannte Extremophile bezeichnet.

In den vergangenen Jahren wurden intensive Studien an diesen Mikroorganismen durchgeführt und es gelang, eine Vielzahl von ihnen aus extremen Biotopen, wie z. B. kontinentalen und submarinen Vulkangebieten, Black Smokern in der Tiefsee, alkalischen Seen, Salzseen, kalten Regionen oder extrem sauren Habitaten zu isolieren. Phylogenetisch gehören viele dieser Organismen den Archaea, den so genannten Urbakterien an, der dritten Domäne neben den Bakterien und den Eukarya.

Relevant für die hier geplanten Untersuchungen sind Mikroorganismen, die an extreme irdische Bedingungen angepasst sind, welche aber den Bedingungen auf dem Mars nahe kommen, und in dieser Diplomarbeit realisiert wurden:

#### Temperatur:

Marstemperaturen liegen überwiegend deutlich unter dem Gefrierpunkt. Aus sibirischem Permafrost wurden Mikroorganismen isoliert, deren Stoffwechselfunktion selbst bei Temperaturen bis  $-20^{\circ}\text{C}$  nachgewiesen werden konnte. Derartige kryophile Mikroorganismen könnten auch bei Marstemperaturen aktiv metabolisieren und sich eventuell unter moderateren Bedingungen nachweisbar vermehren [2].

#### Atmosphäre:

Viele der heute bekannten Mikroorganismen sind zumindest fakultativ anaerob. Sauerstoff ist für viele Mikroorganismen nicht nur unnötig, sondern oft sogar toxisch. Es gibt daher auch auf der Erde Mikroorganismen, die unter einer

überwiegend CO<sub>2</sub>-haltigen Atmosphäre leben können. Hier sind vor allem Vertreter der Archaen wie auch der Bakterien von Interesse.

#### Druck, Trockenheit:

Barophile Mikroorganismen wurden z. B. aus der Tiefsee isoliert, wo sie enorm hohen Drücken standhalten. Habitate mit sehr niedrigen Drücken von 6-10 mbar, wie sie auf dem Mars gemessen wurden, sind bisher auf der Erde nicht bekannt. In verschiedenen Versuchen überwiegend mit trockenheitstoleranten Mikroorganismen in Vakuum-Simulationsanlagen konnte nachgewiesen werden, dass nicht nur Dauerformen wie Sporen, sondern auch vegetative Zellen von z. B. *Deinococcus radiodurans* in Vakuum bis  $10^{-3}$  Pa überleben. Der niedrige Druck und die geringe Feuchtigkeit der Marsatmosphäre sind nach der hohen energiereichen Strahlung, die die Marsoberfläche trifft, sicher die Umweltbedingungen mit dem größten Einfluss auf einen möglichen aktiven Stoffwechsel von irdischen Mikroorganismen. Hier spielt die Wasserverfügbarkeit die wichtigste Rolle. Aktive xerophile Mikroorganismen konnten bei einer Wasseraktivität  $a_w$  von 0,75, was der von Mehl entspricht, immerhin noch nachgewiesen werden[3].

#### Strahlung:

Durch die fehlende Ozonschicht und die überwiegend aus CO<sub>2</sub> bestehende Atmosphäre vom Mars dringt kurzwellige solare UV-Strahlung mit Wellenlängen >200 nm bis auf die Marsoberfläche vor[4]. Das Hauptziel der UV-Strahlung bei Mikroorganismen ist die DNA mit einem Absorptionsmaximum von 260 nm, weshalb dieses UV-Strahlenklima auch für strahlenresistente Mikroorganismen eine Gefahr darstellt. Aber schon einfache Abschattungen z. B. durch Regolithstäube oder mehrere Schichten von Mikroorganismen selbst, schützen tiefer liegende vor der nicht-ionisierenden Strahlung, wie in verschiedenen Experimenten, darunter auch Weltraum-Experimenten, gezeigt werden konnte. Auch sehr strahlenresistente Mikroorganismen werden mit der Zeit deutlich durch die ebenfalls auf dem Mars im Vergleich zur Erde erhöhten, ionisierenden Strahlung inaktiviert. Diese, auch kosmische Strahlung genannt, nimmt mit der

Tiefe des Bodens aber deutlich ab, sodass in tieferen Schichten auch Mikroorganismen, die nicht so resistent sind wie z. B. *Deinococcus radiodurans*, leben könnten. Die Simulationsanlage verfügt über eine bauliche Vorbereitung um eine externe Strahlungsquelle anzubringen, damit Mikroorganismen einer UV-Strahlung ausgesetzt werden können. Diese wird voraussichtlich im Laufe der aufbauenden biologischen Experimente angebracht werden.

## 5 Der Mars - Ein Portrait

Der Mars ist der vierte Planet in unserem Sonnensystem. Seinen Namen verliehen ihm die alten Römer, die damit ihren Kriegsgott ehren wollten. Andere Zivilisationen gaben ihm ähnliche Namen. Die alten Ägypter nannten den Planeten *Her Descher* was frei übersetzt *der Rote* bedeutet. Von der Erde aus beobachtet erscheint der Mars als roter Planet. Dies verdankt er dem Eisenoxid  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  das in Mineralen auf der Oberfläche enthalten ist. Seine Masse beträgt  $6,4 \times 10^{23}$  kg und mit einem Radius von 3396 km ist der Mars wesentlich kleiner als unsere Erde. Somit beträgt sein mittleres Raumgewicht 3900 Kilogramm pro Kubikmeter. Dies lässt darauf schließen, dass der Mars zum Großteil aus Silikaten besteht, die ein, vom Druck und der Zusammensetzung abhängiges, Raumgewicht von 2700 bis 4500 Kilogramm pro Kubikmeter haben [5].

Die Untersuchung der Bahndaten, die *Mars Global Surveyor* aufgenommen hat, belegt, dass der Mars einen flüssigen Kern, mit einer höheren Temperatur als vorher angenommen, besitzt, dessen Durchmesser auf 3000 km geschätzt wird. Über dessen Zusammensetzung kann jedoch noch keine Aussage getroffen werden [4].

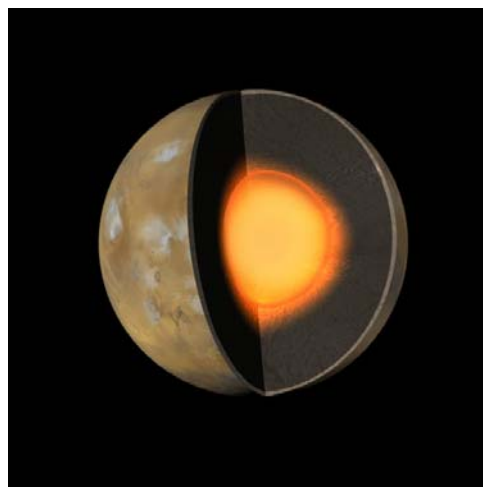


Abbildung 1: Der flüssige Kern des Mars in einer Simulation der NASA [4]

Aufgrund seines, im Vergleich zur Erde mit  $6,4 \times 10^{23}$  kg, geringen Gewichtes beträgt die Fallbeschleunigung auf der Marsoberfläche lediglich 38% ( $3,71\text{ms}^{-2}$ ) der Erdanziehungskraft. Anders als der Mond oder Merkur, rotiert der Mars mit einer relativ hohen Geschwindigkeit, so dass ein Tageszyklus fast mit dem auf der Erde identisch ist. Seine elliptische Umlaufbahn um die Sonne dauert 687 Tage.

Durch seine geringe Dichte wird der Planet nur von einer dünnen Atmosphäre umgeben. Der Atmosphärendruck beträgt je nach Jahreszeit lediglich zwischen 4,0 und 8,7mPa. Seine Atmosphärenzusammensetzung besteht zu über 95% aus CO<sub>2</sub>, aus 0,13% Sauerstoff, Stickstoff (N<sub>2</sub>; 2,7%), Argon (Ar; 1,6%) sowie Spuren von Wasser und Wasserdampf (zwischen 0,001 % und 3 %), Kohlenmonoxid und Edelgasen (wie Krypton und Xenon)



Abbildung 2: Ein im Frühling vom Hubble Teleskop aufgenommenes Bild [4]

Die dünne Atmosphäre des Mars vermag kaum Wärme zu speichern, somit sind die Tag-Nachttemperaturschwankungen mit 184K zu 242K (-89 zu -31°C) sehr hoch.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Die gemittelte Temperatur auf dem Mars beträgt -63°C, mit einer Maximaltemperatur von +20°C und einer Mindesttemperatur von -140°C

Trotz des geringen Oberflächendrucks ist die Atmosphäre des Mars dennoch dicht genug um atmosphärische Phänomene wie Stürme und Wolken auftreten zu lassen. Verwehungen belegen, dass auf dem Mars erosive Windkraft herrscht.

Die Oberfläche des Mars lässt sich in zwei Hemisphären unterteilen, wobei das nördliche Flachland durch einen 2-3 km hohen Felsgürtel von der hügeligen Südhalbkugel getrennt ist. Nahe am Äquator, zwischen dem 40. und 100. Längengrad, erstreckt sich ein riesiges Tal, genannt Valles Marineris. Dieses ist aufgrund seiner Länge von 4500 km auch von der Erde aus zu beobachten.



Abbildung 3: Der Felsgürtel am Marsäquator [4]

Der Mars wird an seinen beiden Polen durch eine Eiskappe bedeckt, die je nach Jahreszeit<sup>2</sup> ihre Ausdehnung ändert, wobei die nördliche Eiskappe im Frühling mit einer Geschwindigkeit von 20 km pro Tag schrumpft. Beide Polkappen bestehen vermutlich aus gefrorenem Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), jedoch besteht die Möglichkeit, dass sich unter der Polkappe des Nordpols<sup>3</sup> Wassereis befindet.

---

<sup>2</sup> Aufgrund seiner erdähnlichen Umlaufbahn und Achsneigung besitzt der Mars Jahreszeiten die mit denen auf der Erde vergleichbar sind.

<sup>3</sup> Die nördliche Polkappe hat während der Sommermonate auf dem Mars eine Ausdehnung von 1.000 km. Ihre Dicke wird auf 5 km geschätzt.



Da der Oberflächendruck auf dem Mars zu gering ist, kann sich auf der Oberfläche kein flüssiges Wasser halten, es besteht jedoch die Möglichkeit, dass sich tief im Marsboden gefrorenes Wasser befindet. Dennoch ist die Feuchtekonzentration der Atmosphäre mit 3%, für diese Temperaturbereiche sehr hoch, was die Bildung von Wolken ermöglicht, die von Regen jedoch nicht. Obwohl auf dem Mars kein flüssiges Wasser vorhanden ist, lassen zahlreiche Kanäle der Oberfläche auf flüssiges Wasser oder Lavaflüsse in der Vergangenheit schließen.



**Abbildung 4: Kanäle auf der Marsoberfläche zeigen das Vorhandensein von Wasser in der Vergangenheit. [4]**

Flüssiges Wasser lässt den Rückschluss zu, dass früher auf dem Mars wärmere Temperaturen und eine dichtere Atmosphäre vorherrschten.

Die auffällige Dichotomie<sup>4</sup> des Mars ist bis heute nicht geklärt, jedoch erscheint, aufgrund der wesentlich geringeren Krateranzahl der Nordhalbkugel, diese Ebenenlandschaft erheblich jüngeren Ursprungs zu sein. Eine Vermutung diesbezüglich stützt sich auf einen Asteroideneinschlag, der die Vulkankrater

---

<sup>4</sup> *Dichotomie* bedeutet „Zweiteilung“ und ist eine Ableitung vom griechischen Wort *dīchōtōmos* = entzweit

der Nordhalbkugel mit Silikatstaub bedeckte. Ein weiterer Erklärungsversuch basiert auf tektonischen und vulkanischen Prozessen unter der Silikatkruste, die die ehemaligen Vulkankrater verschwinden ließen.

Der Mars wird von den beiden Monden *Phobos* und *Deimos* [2] umkreist, welche 1877 vom amerikanischen Astronomen Asaph Hall entdeckt wurden. Ihre unregelmäßige Felsform lässt vermuten, dass es sich bei den beiden Monden um Asteroiden handelt, die durch die Gravitationskraft des Mars eingefangen wurden [6].

*Phobos* nähert sich, aufgrund der kürzeren Umlaufzeit und der Gezeitenkraft, dem Mars auf einer Spiralbahn langsam an. Eine Forschergruppe des DLR errechnete, dass der Mond in 50 Millionen Jahren entweder auf den Mars stürzen wird, oder anhand der Gezeitenwechselwirkung zerrissen und kurz als sichtbarer Marsring enden wird.

*Deimos* hingegen driftet, wegen seiner langsameren Kreisbahn, langsam ab und wird der Anziehungskraft des Mars in ferner Zukunft entfliehen.

## **6 Grundlagen**

### **6.1 Anforderungen an die Experimentierkammer**

Die Aufgabenstellung zur Entwicklung der Marssimulationskammer umfasst den Aufbau einer Experimentierkammer mit den nötigen Anlagenteilen um folgenden Anforderungen gerecht zu werden:

- Das Einbringen eines Gasgemisches, das der Marsatmosphäre ähnlich ist;
- Die Regelung des vorhandenen Oberflächendruckes einschließlich seiner saisonalbedingten Schwankungen;
- Die Einbringung einer gewünschten Wasserkonzentration in die Atmosphäre;
- Die Simulation der auf dem Mars auftretenden Temperaturschwankungen;
- Die Möglichkeit, ein Behältnis für biologische Experimente in die Kammer einzubringen;
- Die bauliche Vorbereitung um eine externe Strahlungsquelle anzubringen, damit Mikroorganismen einer UV-Strahlung ausgesetzt werden können;
- Die Option zur Anbringung eines Spurengasdetektors um Stoffwechselprodukte zu analysieren, sowie
- das Auslesen und Regeln aller Umweltparameter um die Anlage auch autonom betreiben zu können.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Simulationsanlage entwickelt, die all diesen Ansprüchen gerecht wird.



**Abbildung 5: Marssimulationskammer**

## **7 Aufbau der Experimentierkammer**

### **7.1 Prinzipieller Aufbau**

Der zentrale Teil der Marssimulationskammer ist ein Hochvakuumrezipient, in den die späteren Proben eingesetzt werden können, und der über zwei Vakuumpumpen evakuiert werden kann.

Durch Vakuummessgeräte wird der Unterdruck der Experimentierkammer gemessen und über Messgeräte angezeigt. Ein vakuumtauglicher Feuchtesensor registriert die im Innern der Kammer vorherrschende Feuchtigkeit, 5 PT-100 Widerstandsthermometer lesen die Temperatur aus. Zusätzlich sind alle Messgeräte an eine National Instruments Datenerfassungskarte angeschlossen, die die Signale über eine USB-Schnittstelle an den Steuerrechner weiterleitet.

Die in Labview programmierte Regelungssoftware gibt die ausgelesenen Parameter auf dem Bildschirm aus und übernimmt die gesamte Druckregelung.

Die Regelung erfolgt über zwei elektromagnetische Vakuumventile an, die ebenfalls an die NI-Karte angeschlossen sind.

Beide Vakuumventile sind mit je einer Seite am Rezipienten angeschlossen; das Auslassventil ist zudem mit der Vakuumvorpumpe über einen manuell fein justierbaren Durchflussbegrenzer verbunden, das Einlassventil ist noch an eine Gasflasche mit der gewünschten Gaszusammensetzung gekoppelt.

Fällt nun der Druck in der Kammer unterhalb eines eingestellten Schwellwertes, öffnet sich das Einlassventil und das Gasgemisch strömt in die Kammer, bis der Solldruck wieder erreicht ist. Bei Überdruck öffnet sich das Auslassventil, und die Kammer wird bis zum Solldruck abgepumpt.

Der gewünschte Wasseranteil wird manuell in die Atmosphäre eingebracht. Dies geschieht über ein Wasserreservoir, über das Wasser in die Anlage

hineinströmt, und das über ein Handventil, bei gewünschter Wasserkonzentration, wieder verschlossen werden kann.

Die Temperaturregelung der Marskammer wird über einen externen und programmierbaren Kryostaten gewährleistet. Für den Aufbau im Labor und erste Tests stand jedoch nur ein kleiner, nicht programmierbarer Kryostat zur Verfügung. Dieser ist an eine Kupferspirale im Innern der Kammer angeschlossen, die die eingestellte Temperatur zuverlässig an den Experimentierraum weitergibt.

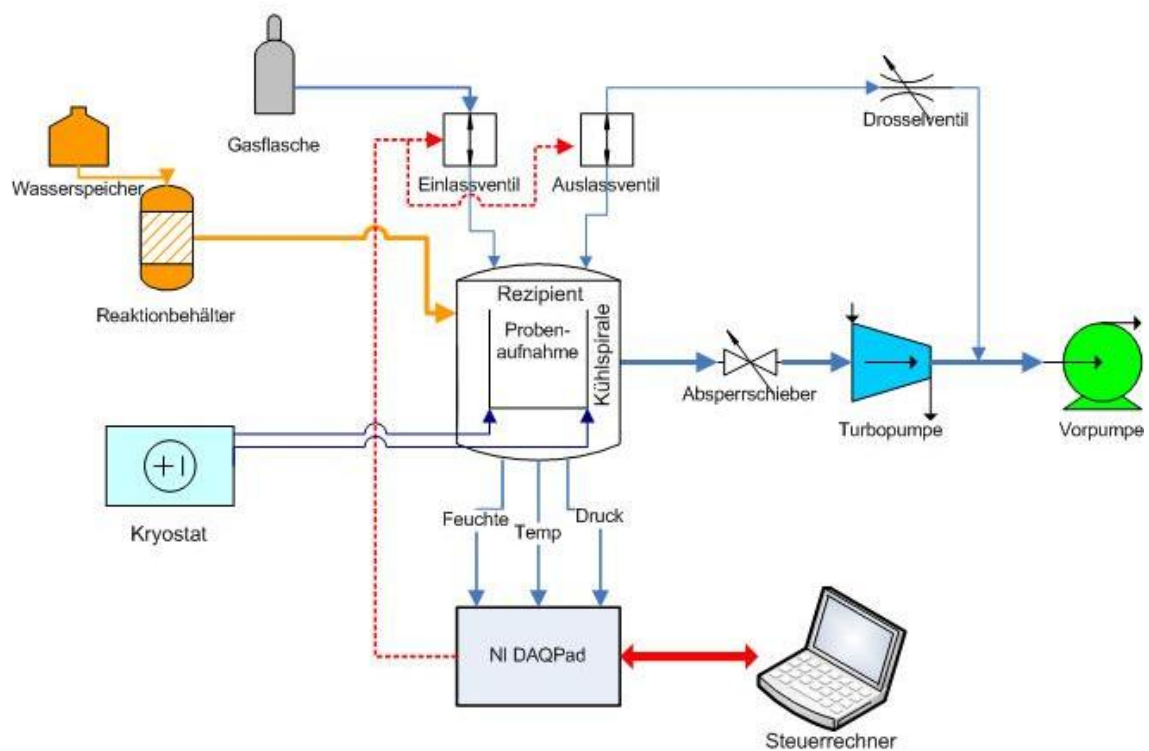


Abbildung 6: Funktionsdiagramm der Experimentierkammer

## 7.2 Rezipient

Der Hochvakuumrezipient besteht aus einem Edelstahlgehäuse mit 22 unterschiedlichen CF-Vakuuman schlüssen, die eine große Vielfalt an Variationsmöglichkeiten erlauben.<sup>5</sup> Der Rezipient verfügt über ein, mit einem Vitondichtring abgedichtetes, abnehmbares Oberteil, das leichten Zugang zum Innenraum gewährt. Mit einer reinen Nutzhöhe von 340 mm und einem Innendurchmesser von 335mm erfüllt der Vakuumbehälter die Anforderung, einen Probenbehälter für biologische Experimente im Innern platzieren zu können. Lediglich durch die Kühlspirale, die den Innenraum temperiert und die in 7-32 Temperierung beschrieben ist, wird das innere Volumen beschränkt.

Zur Observation der Proben in der Experimentierkammer verfügt das abnehmbare Oberteil über ein Sichtfenster, und an dem im späteren Verlauf eine UV-Strahlungsquelle befestigt werden kann.

## 7.3 Vakuum

Die Experimente, die während dieser Arbeit durchgeführt werden, erfolgen bei einem Unterdruck von 6mbar. Um jedoch die Atmosphäre auf dem Mars zu simulieren, ist es notwendig, den Experimentraum vollständig zu evakuieren, um jegliche Verunreinigung zu beseitigen. Somit wird auch gewährleistet, dass unter absolut reinen Atmosphärenbedingungen gearbeitet werden kann.

Zur Erzeugung eines Hochvakuums stehen zwei Pumpen zur Verfügung: eine ölfreie Scroll-Vakuumpumpe zur Erzeugung des Vorvakuums sowie eine Turbomolekularpumpe Turbovac TW 300H der Firma Leybold.

Turbomolekularpumpen bestehen im Wesentlichen aus dem Pumpengehäuse, einem mehrstufigen Rotor mit Statorpaket und dem Antrieb. Der Rotor setzt sich aus einer Turbomolekularpumpe-Stufe und einer Holweck-Stufe<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Die Flanschanschlüsse sind genormt und reichen von den Größen DN 40CF bis hin zu DN 160CF.

<sup>6</sup> Molekularpumpe-Stufen mit schraubenförmigen Pumpkanälen werden als Holweck-Stufe bezeichnet. Zur Komprimierung von hohen Drücken müssen die Abmaße der Pumpkanäle der mittleren freien Weglänge der Gasmoleküle entsprechen.

zusammen. Die Holweck-Pumpstufe erhöht den zulässigen Vorvakuumdruck deutlich gegenüber klassischen Turbomolekularpumpen. Die Pumpe wird durch einen Gleichstrom-Spaltrohrmotor angetrieben, bei dem Rotor und Statorwicklungen durch einen vakuumdichten Zylinder getrennt werden. Dadurch läuft der Rotor im Vakuum und der Motorstator bleibt außerhalb des Vakuums. Eine Vakuumdurchführung ist somit nicht erforderlich.

Die Pumpe wird von einem elektronischen Frequenzumwandler TURBO.DRIVE 300 angetrieben. Alle Funktionen, wie z.B. Drehzahlstabilisierung, Pumpenerkennung oder Temperaturüberwachung werden vom TURBO.DRIVE 300 überwacht. Dieser wird über eine externe Stromversorgung gespeist.



Abbildung 7: Leybold Turbovac TW 300H [7]



Zu Beginn des Abpumpvorganges wird der Rezipient über die Scroll-Vorpumpe<sup>7</sup> bis zu einem Unterdruck von  $1 \times 10^{-1} \text{ Pa}$  evakuiert. Erst jetzt kann die Turbopumpe, die mit der Vorpumpe in Reihe geschaltet ist, hinzugeschaltet werden. Sobald ein Hochvakuum von  $1 \times 10^{-7} \text{ Pa}$  erreicht ist können beide Pumpen durch ein manuelles Schiebeventil vom Rezipienten getrennt werden. Abpumpvorgänge können nun nur noch über das elektromagnetische Auslassventil, das über einen justierbaren Durchflussbegrenzer mit der Vorpumpe verbunden ist, durchgeführt werden.



Abbildung 8: Leybold Scroll Vorvakuumpumpen [7]

---

<sup>7</sup> Scroll-Pumpen sind Verdrängerpumpen mit zwei ineinander liegenden archimedischen Spiralen, wobei die eine feststehend ist und die zweite exzentrisch auf einer kreisförmigen Bahn läuft. Das Gas wird so zur Mitte hin immer weiter komprimiert und abtransportiert.

## 7.4 Druckmessung bis $1 \times 10^{-10}$ mbar

Die Druckmessung im Bereich bis zu  $1 \times 10^{-10}$  mbar übernimmt ein ATMION-Vakuummessgerät der Firma VACOM. Seine Funktion basiert auf der Kombination eines, nach dem Piraniprinzip aufgebauten, Wärmeleitungs-vakuummeters und einem Bayard-Alpert-Ionisationsvakuummeter. Die Umschaltung von Pirani- auf Bayard-Alpert Messprinzip erfolgt bei einem Druck von  $1 \times 10^{-2}$  mbar.

Die Auswerteelektronik ist bei diesem Gerät bereits im Gehäuse integriert und liefert ein analoges Ausgangssignal zwischen 0 und 10Volt, welches dem Logarithmus des Druckes mit 0,625 Volt pro Dekade proportional ist. Die Druckausgabe dieses Messsystems ist mit Stickstoff kalibriert und muss je nach Gasart mit einem Korrekturfaktor belegt werden.

Die Druckmessung eignet sich für reine Gase und kann in einem Gasgemisch nicht verwendet werden.



Abbildung 9: Atmion Wide Range Manometer [8]

#### **7.4.1 Pirani-Messsystem**

Das Piranimesssystem basiert auf der druck- und gasartabhängigen Wärmeabgabe eines stromdurchflossenen Metalldrahtes. Die Wärmeabgabe ist abhängig von der Wärmeleitung des Gases, der Wärmestrahlung, sowie der Konvektion des Gases. Um Störgrößen möglichst gering zu halten, wird als Sensor ein sehr dünner Draht verwendet und zudem wird bei einer konstanten Drahttemperatur gearbeitet. Hierzu wird der Drahtwiderstand in einer Wheatstone-Brücke gemessen und über eine interne Regelung konstant gehalten. Außerdem wird die dem Draht zugeführte Leistung gemessen. Unterhalb von 10 mbar überwiegt die Druckabhängigkeit der Wärmeleitung durch das Gas, Konvektion findet im Wesentlichen oberhalb von 100mbar statt.

#### **7.4.2 Bayard-Alpert-Messsystem**

Das Bayard-Alpert-Messsystem beruht auf der Ionisation der Gasatome durch Elektronen. Diese werden aus einer geheizten Kathode emittiert, anschließend zum Gitter beschleunigt und ionisieren das Gas. Die innerhalb des Gitters erzeugten Ionen werden zum Kollektor hin beschleunigt und erzeugen den Messstrom. Der Kollektorstrom ist über einen weiten Bereich dem Gasdruck proportional, wobei er zusätzlich von der Ionisierungswahrscheinlichkeit des Gases abhängt.

## 7.5 Druckmessung zwischen 0,1 und 1000 mbar

Die Druckmessung im Bereich von 0,1 bis 1000 mbar wird durch einen Absolutdruckaufnehmer der Firma MKS Instruments gewährleistet. Das Druckmessgerät Baratron 626A ist speziell für genaue und reproduzierbare Druckmessungen im Druckbereich bis 0,1 mbar geeignet. Das Messgerät liefert eine Ausgangsspannung von 0 bis 10 Volt, proportional zum Druck. Bei diesem Druckaufnehmer sind nur Teile aus Inconel dem Prozess ausgesetzt, was auch den Einsatz in korrosiver und schmutziger Atmosphäre erlaubt.

Die Messungen sind unabhängig von der Gaszusammensetzung und somit auch für ein Gasgemisch ähnlich der Marsatmosphäre geeignet.



Abbildung 10: Baratron 626 [9]

### 7.5.1 Sensor

Der kapazitive Drucksensor besteht aus einer Messzelle, die durch eine Inconelmembran in eine Messkammer und eine Referenzkammer unterteilt ist. Die Messkammer ist über das Anschlussrohr dem zu messenden Gasdruck ausgesetzt. In der Referenzkammer steht der Membran eine fest montierte Keramikscheibe, auf der zwei ringförmige, konzentrische Elektroden aufgedampft sind, gegenüber. Die Elektroden bilden mit der Membran Kapazitäten, die in einer Messbrücke integriert sind. Die Referenzseite ist evakuiert, wobei ein chemisches Gettersystem das Vakuum aufrechterhält. Hierbei bindet ein chemisch reaktiver Stoff an der Oberfläche Gasmoleküle mit den Atomen des Getters.

Die Membran wird, unabhängig von der Gasart und deren Zusammensetzung, durch die Änderung des Absolutdrucks ausgelenkt. Diese Auslenkung bewirkt eine Abstandsänderung der Membran zu den beiden Elektroden, was zu einer unsymmetrischen Änderung der Kapazitäten führt. Die Kapazitäten sind Teil einer Messbrücke, die durch einen Oszillator mit konstanter Frequenz und Amplitude gespeist wird. Die Amplitude des an der Brücke abgegriffenen Signals ist proportional der Kapazitätsverschiebung und damit zur Auslenkung der Membran. Dieses Signal wird durch eine integrierte Elektronik gleichgerichtet, linearisiert und verstärkt, und somit entsteht ein lineares Ausgangssignal zwischen 0 und 10 Volt.

Angeschlossen ist der Baratron Druckaufnehmer an ein Betriebsgerät PR4000F, das ebenfalls von der Firma MKS Instruments stammt. Das Zweikanalanzeigegerät ist mit zwei Relaisausgängen ausgestattet und kann über eine RS232-Schnittstelle das Drucksignal an die Datenerfassungskarte von National Instruments weiterleiten.



Abbildung 11: Betriebsgerät PR 4000 F [9]

## 7.6 Temperaturerfassung

Die Temperaturerfassung im Innern der Experimentierkammer übernehmen 5 Pt100 Widerstandsthermometer. Sie lassen sich individuell positionieren und gewährleisten eine gleichmäßige Temperaturmessung im gesamten Experimentierraum.

Pt 100 Widerstandsthermometer sind Kaltleiter und beruhen auf der Widerstandsänderung von Platin unter Temperaturschwankungen. Platin hat sich durch seine chemische Beständigkeit und der hohen Reproduzierbarkeit seiner elektrischen Eigenschaften in der industriellen Temperaturerfassung durchgesetzt. Die in der DIN EN 60751 festgelegten Fertigungstoleranzen gewährleisten eine hohe Austauschbarkeit. Platin-Temperatur Sensoren eignen sich für eine genaue und reproduzierbare Temperaturmessung im Bereich von -200°C bis 850°C und werden durch ihren Nennwiderstand bei 0°C beschrieben. Somit besitzt ein Pt100 bei einer Temperatur von 0°C einen Widerstand von 100  $\Omega$ .

Je nach Anwendungsbereich unterscheidet man 3 verschiedene Bauformen, wobei hier die Pt100 als Dünnschichtsensoren ausgelegt sind, da sie durch ihre geringe Masse eine kurze Ansprechzeit aufweisen.

Dünnschichtsensoren basieren auf einem Aluminiumoxidplättchen, welches mit einer Platinschicht bedampft wird. Diese wird im Anschluss mit einem Laserstrahl strukturiert und zum Schutz mit einer Glasschicht überzogen.

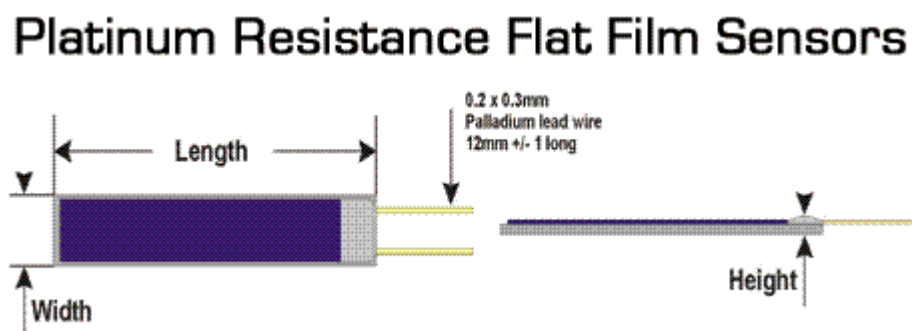


Abbildung 12: Pt100 Dünnschichtsensor [10]

Die elektrische Verbindung besteht aus vakuumtauglichen und teflonummantelten Messleitern und ist in Dreileitertechnik ausgelegt. Dies soll einen Messfehler durch den Eigenwiderstand der Messdrähte minimieren. Die dritte Leitung funktioniert als Messleitung um den Leitungswiderstand zu kompensieren. Die Messleitungen werden über eine Vakuumdurchführung der Firma *Deutsch* aus der Kammer geleitet und sind mit jeweils einem Messumformer *Jumo dTrans T04* verbunden.



Abbildung 13: JUMO DTrans T04 Messumformer [11]

Die Messumformer sind für die Auswertung von Widerstandssignalen ausgelegt und können sowohl mit Pt100 sowie mit Pt1000 betrieben werden. Alle Messbereiche sind direkt am Gerät einstellbar und präzise abgeglichen, wodurch kein nachträglicher Feinabgleich mehr nötig ist. Sie liefern wahlweise ein Ausgangssignal von 0 bis 10 Volt oder von 4 bis 20 mA, welches von der *National Instruments* Datenerfassungskarte eingelesen werden kann.

## 7.7 Temperierung

Zur Temperaturregelung der Experimentierkammer wurde ein Kühlmantel in die Kammer eingelassen. Dieser besteht aus einem Kupfergefäß mit einer Höhe von 260mm und einem Durchmesser von 235 mm, das von Kühlspiralen umgeben ist, um einen gleichmäßigen Wärmeaustausch zu gewährleisten. Die Kühlspiralen bestehen aus 9 Windungen Kupferrohr mit einem Innendurchmesser von 10 mm, welche mit Silberlot an den Kühlmantel gelötet wurden. Der Kühlmantel kleidet den gesamten Innenraum der Experimentierkammer aus und umgibt somit ebenfalls die Behältnisse für biologische Experimente. An der Unterseite des Kühlgefäßes sind die Anschlüsse für das Kühlmedium angebracht. Sie sind durch Vakuumschläuche mit einer selbst gefertigten Flüssigkeitsdurchführung, an der Unterseite der Experimentierkammer verbunden, welche auch die Verbindung zum Kryostaten übernimmt.

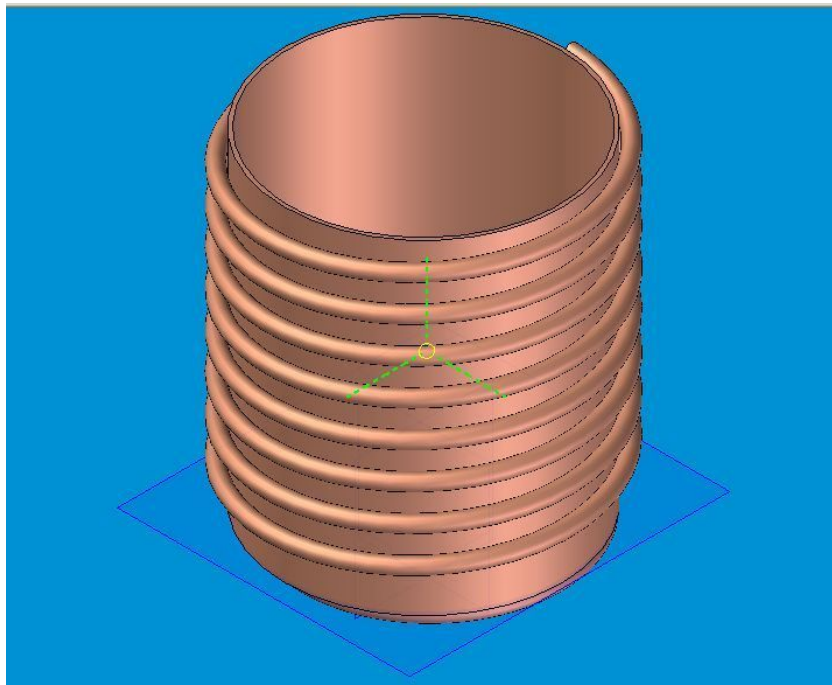


Abbildung 14: Solid Edge Entwurf des Temperiermantels



Als Kühlmedium wird ein Wasser-Triethylenglykol-Gemisch verwendet, das der Kryostat Typ WK 250 der Firma *MGW LAUDA*, der nur zur Testzwecken angebracht ist, durch das Kühlgefäß pumpt.

Im späteren Verlauf der biologischen Experimente soll der WK 250 Kryostat durch ein ortsfestes und frei programmierbares Temperiergerät ersetzt werden. Hierbei liegt der Vorteil in den programmierbaren Temperaturverläufen, wodurch man bei längerfristigen Experimenten auch die gewünschten Schwankungen der Tages- und Nachttemperaturen autonom ablaufen lassen kann.

## 8 Grundlagen der Feuchtemessung

Die Löslichkeit von Wasserdampf in einer Atmosphäre ist begrenzt. Hierbei ist der maximale Partialdruck des Wasserdampfes eine Funktion der Temperatur, da eine wärmere Atmosphäre mehr Wasserdampf aufnehmen kann als eine mit niedriger Temperatur.

Der Gehalt an Wasserdampf in einer Atmosphäre kann aus der Zustandsgleichung für ideale Gase abgeleitet werden:

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \cdot \frac{1}{M}$$

**Formel 1: Zustandsgleichung für ideale Gase [13]**

p-Gasdruck, V-Gasvolumen, m-Gasmasse, R-Gaskonstante, T-absolute Temperatur, M-Molmasse

Der Wasserdampfdruck beschreibt den Partialdruck des Wassers in seiner gasförmigen Phase und ist Teil des barometrischen Gesamtdruckes. Als Formelzeichen wird das Formelzeichen  $e$  verwendet. Die Maßeinheit beträgt mbar oder hPa.

$$e_w = p_w$$

Der Gesamtdruck eines Atmosphäremischung setzt sich aus den Teildrücken der einzelnen Gaskomponenten im Volumen zusammen.

$$p = p_w + p_{G1} + \dots + p_{GX}$$

**Formel 2: Gesamtdruck eines Atmosphäremischung [13]**

$p_{G1}$  - Druck der Gaskomponente 1,  $p_{GX}$  - Druck weiterer im Gas enthaltenen Komponenten

In einem geschlossenen Behälter mit der Temperatur T, welches zum Teil mit Wasser gefüllt ist, stellt sich ein Verdampfungs- und Kondensationsgleichgewicht ein. Dieses Gleichgewicht zwischen Verdampfung

und Kondensation bewirkt einen, von der Temperatur abhängigen, Wasserpartialdruck. Dies bedeutet, dass eine Temperaturerhöhung ebenfalls einen höheren Wasserdampfdruck einschließt. Die größtmögliche Feuchtekonzentration bei einer bestimmten Temperatur  $T$  ist der Sättigungsdampfdruck  $e_{ws}$ . Eine Überschreitung dieser Konzentration führt zur Kondensation und es stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein. Der Sättigungsdruck wird in mbar oder hPa angegeben.

$$e_{sw}(T) = 6,11213 \cdot \exp\left(\frac{17,5043 \cdot T}{241,2 + T}\right) \quad T = \text{Lufttemperatur über Wasser}$$

**Formel 3: Wassersättigungsdampfdruck über Wasser [13]**

$$e_{si}(T) = 6,11153 \cdot \exp\left(\frac{22,4433 \cdot T}{272,186 + T}\right) \quad T = \text{Lufttemperatur über Eis}$$

**Formel 4: Wassersättigungsdampfdruck über Eis [13]**

Der Sättigungsdampfdruck  $e_{sw}$  ist exponentiell von der Temperatur abhängig bzw. unabhängig vom Atmosphärendruck. Sobald der Tripelpunkt des Wassers bei  $0,01^\circ\text{C}$  erreicht ist, liegt das Wasser sowohl als feste Phase (Wassereis) und als instabile flüssige Phase vor. Bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes, liegt neben dem Dampfdruck des Wassers ebenfalls ein Dampfdruck über Eis vor.

Der *Taupunkt*  $T_d$  beschreibt die Temperatur, bei der eine Atmosphäre vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist. Wird die Atmosphärentemperatur nun gesenkt, so schlägt sich dieser augenblicklich als Tau oder Niederschlag nieder.

Bei Normaldruck ( $p=1013,25\text{hPa}$ ) gilt:

$$T_d = 241,2 \cdot \left[ 17,5043 \cdot \left( \ln \frac{e_w}{6,11213} \right)^{-1} - 1 \right]^{-1} \quad \text{für Atmosphärentemperaturen } -30^\circ\text{C} < T < 70^\circ\text{C}$$

## Formel 5: Taupunkt von Wasser bei Normaldruck [13]

Die *Frostpunkttemperatur*  $T_f$  beschreibt die Temperatur, an der die Atmosphäre, unter Normaldruck, über einer Oberfläche aus Eis mit Wasserdampf gesättigt ist:

$$T_f = 272,186 \cdot \left[ 22,4433 \cdot \left( \ln \frac{e_i}{6,11153} \right)^{-1} - 1 \right]^{-1}$$

gültig für Gastemperaturen  $-60\text{ °C} < T < 0\text{ °C}$

## Formel 6: Frostpunkttemperatur von Wasser unter Normaldruck [13]

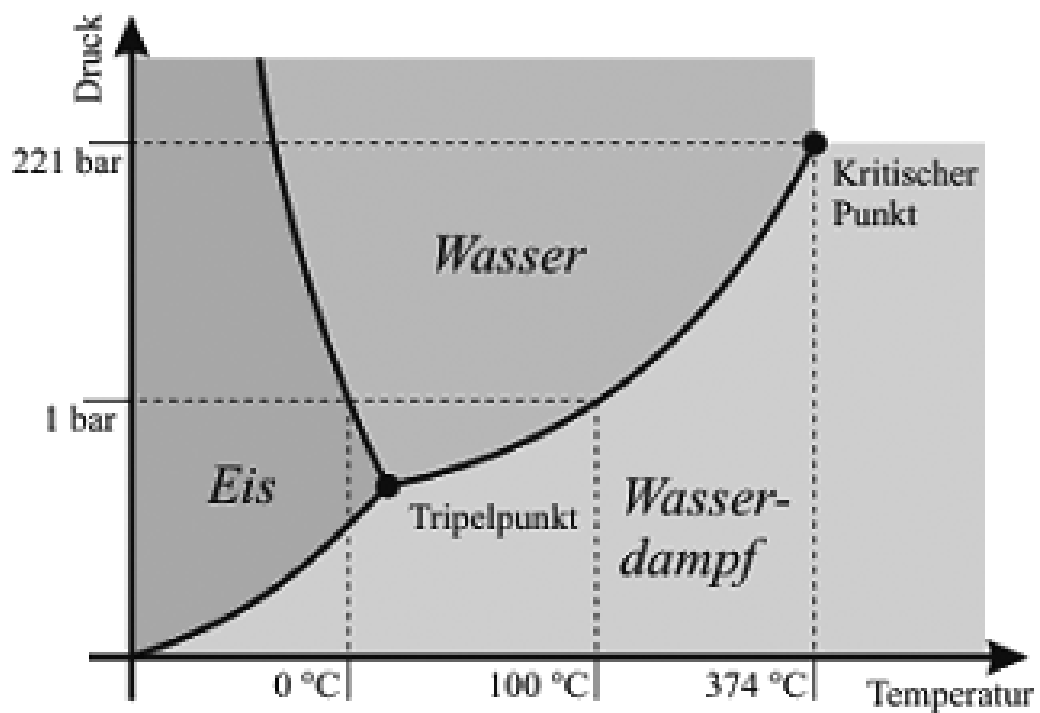


Abbildung 15: Tripelpunkt des Wassers [12]

Die *relative Gasfeuchte* %r.F. zeigt das Verhältnis des herrschenden Wasserdampfdruckes ( $e_w$ ) zum Sättigungsdampfdruck ( $e_{sw}$ ) unter der Berücksichtigung der Atmosphärentemperatur:

$$U(T) = \frac{e_w}{e_{sw}} \cdot 100$$

Formel 7: relative Gasfeuchte [13]

Das *Masseverhältnis* zeigt den Anteil an Wassermolekülen zu den im Gasvolumen enthaltenen Molekülen. Es misst die Masse- oder Volumenkonzentration des Wasserdampfes im Gasgemisch. Die Feuchtemesstechnik verwendet die Maßeinheiten ppm (parts per million) und ppb (parts per billion).

$$f_m = \frac{m_w}{m_w + m_l} \cdot 10^6$$

Formel 8: Massekonzentration [13]

$$f_v = \frac{V_w}{V_w + V_l} \cdot 10^6$$

Formel 9: Volumenkonzentration [13]

## 8.1 Feuchtemessung

Zur Bestimmung der relativen Gasfeuchte in der Experimentierkammer wird ein kapazitives Hygrometer der Serie EE08 von *E+E Elektronik* verwendet. Dieses bestimmt die Luftfeuchte anhand der Abweichung des elektrischen Verhaltens eines Kondensators durch die Absorption von Wasserdampf, bzw. die Änderung der Dielektrizitätskonstanten<sup>8</sup> der verwendeten Materialien zwischen den Kondensatorplatten. Durch das M16x1,5 Anschlußgewinde ließ sich das Messgerät leicht an einem CF-Vakuumflansch anbringen und in die Anlage integrieren. Das Hygrometer verfügt über einen Messbereich von 0 bis 100%rF

---

<sup>8</sup> Die Dielektrizitätskonstante beschreibt den Materialfluss eines Dielektrikums im Kondensator. Sie ist dimensionslos und wird mit  $\epsilon$  bezeichnet. Sie kennzeichnet die Größenänderung der Kapazität eines Kondensators wenn, statt Luft, ein anderes Material als Isolator verwendet wird.

und kann bis zu einer Temperatur von  $-40^{\circ}\text{C}$  eingesetzt werden. Der eingesetzte Sensor HC101 gibt das Messergebnis über einen Analogausgang durch ein Spannungssignal von 0-5 Volt aus, welches durch ein Voltmeter angezeigt wird.



Abbildung 16: EE08 Hygrometer [13]

Zusätzlich ist das Hygrometer an die *National Instruments* Datenerfassungskarte angeschlossen, welche das ausgegebene Analogsignal ausliest und an den Kontrollrechner weiterleitet.

## 8.2 Wasserkonzentration

Um die auf dem Mars vorherrschenden Feuchtebedingungen<sup>9</sup> herzustellen ist es notwendig die gewünschte Wasserkonzentration erst nach dem anfänglichen Abpumpvorgang und der Herstellung des Marsatmosphäremisches einzubringen.

Um dies zu ermöglichen wurde an der Experimentierkammer ein Wasserreservoir angeschlossen, durch das Feuchtigkeit in die Anlage eingebracht werden kann. Dieses besteht aus zwei, durch ein Vakuumventil getrennte Kupferbehälter, wobei ein Behälter als Wasserspender dient, der zweite mit Sichtfenstern versehene Behälter, dient als Reaktionskammer und ist über einen flexiblen Edelstahlschlauch mit der Anlage verbunden.

---

<sup>9</sup> Spuren von Wasser und Wasserdampf (zwischen 0,001 % und 3 %rF)

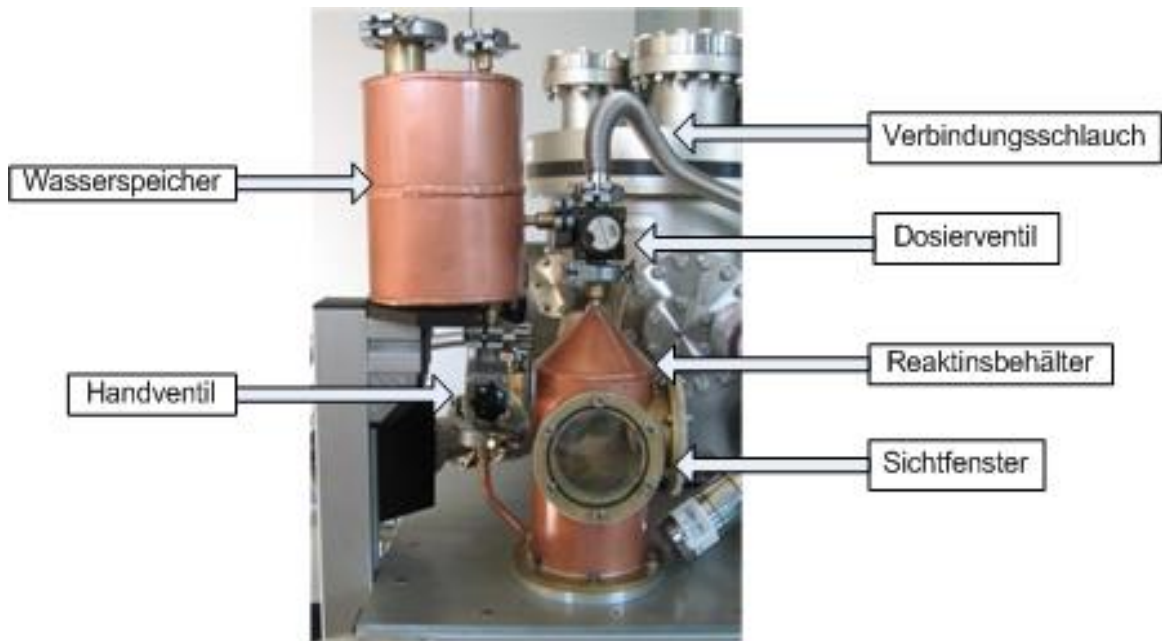


Abbildung 17: Wasserreservoir

Zu Beginn eines Experimentes kann der obere Wasserbehälter vollständig mit Wasser befüllt werden; das untere Behältnis wird über die Vakuumpumpen evakuiert und wird anschließend mit dem Absperrventil von der Experimentierkammer getrennt. Nun kann durch das Handventil Wasser vom oberen Wasserspeicher in den unteren Wasserbehälter geleitet werden, wobei die Sichtfenster auch als Füllstandsanzeige dienen. Überschüssige Flüssigkeit kann im Nachhinein durch eine Ablassschraube im Behälterboden abgelassen werden.

Nachdem das Gasgemisch in die Experimentierkammer geleitet wurde und der gewünschte Druck eingestellt ist, kann das Absperrventil, das den Wasserbehälter von der Experimentierkammer trennt, geöffnet werden und Wasserdampf strömt in die Kammer hinein. Bei einem Druck von 6mbar und Raumtemperatur befindet sich das Wasser in seiner gasförmigen Phase (Abbildung 15) und strömt in den Experimentierraum hinein. Der Anschluss für die Wasserdampfzufuhr befindet sich am Deckel des Rezipienten, so dass der Innenraum gleichmäßig mit Wasserdampf durchströmt wird. Der Feuchtegehalt der Atmosphäre kann nun am Voltmeter oder am Kontrollrechner abgelesen werden. Sobald die gewünschte Feuchtekonzentration erreicht ist, wird das

Absperrventil geschlossen. Bei Bedarf kann so weiterer Wasserdampf in die Kammer hineingeleitet werden. Es besteht ebenfalls die Möglichkeit, diesen Vorgang im nachhinein zu regeln und automatisch ablaufen zu lassen. Hierzu sind nur geringfügige Änderungen am Wasserreservoir und der Experimentierkammerregelung notwendig.

Je nach eingestellter Temperatur und eingestelltem Druck des Experimenttraumes besteht die Möglichkeit, dass das Wasser sowohl in flüssiger Form, als auch dampfförmig und als Eis vorliegt (Abbildung 15). Das Wasser kondensiert je nach Temperaturzyklus an den Kupferwendeln des Kühlmantels. Werden der Druck oder die Temperatur in der Kammer erhöht, verdampft das Wasser wieder und gelangt in das Gasgemisch. Somit sind ähnliche Bedingungen wie auf dem Mars gewährleistet.



## 9 Elektromagnetische Vakuumventile

Die in *Labview 8.2* programmierte Druckregelung steuert zum Abpumpen und Einlassen des Gasgemisches jeweils ein elektromagnetisches Vakuumventil an. Das Einlassventil ist mit einer Gasflasche verbunden, in der sich das Atmosphäremisch befindet; der Gasdurchfluss kann über den Druckminderer an der Gasflasche eingestellt werden; die Gegenseite ist am Rezipienten angeschlossen. Das Ablassventil ist einseitig über ein Drosselventil mit der Scroll-Vorpumpe verbunden. Über das Nadelventil kann das abgepumpte Gasvolumen manuell voreingestellt werden. Auch hier ist die Gegenseite mit dem Rezipienten verbunden. Zum Einsatz kommen Vakuumventile der Firma *Pfeiffer-Vakuum*, welche mit Netzspannung geschaltet werden. Die Ansteuerung der Vakuumventile erfolgt über die Datenerfassungskarte. Um sie zu schalten ist allerdings eine Relaisschaltung notwendig. Die Relais werden über die *National Instruments* Karte mit 5 Volt angeregt, und schalten so die Lastspannung der Ventile.

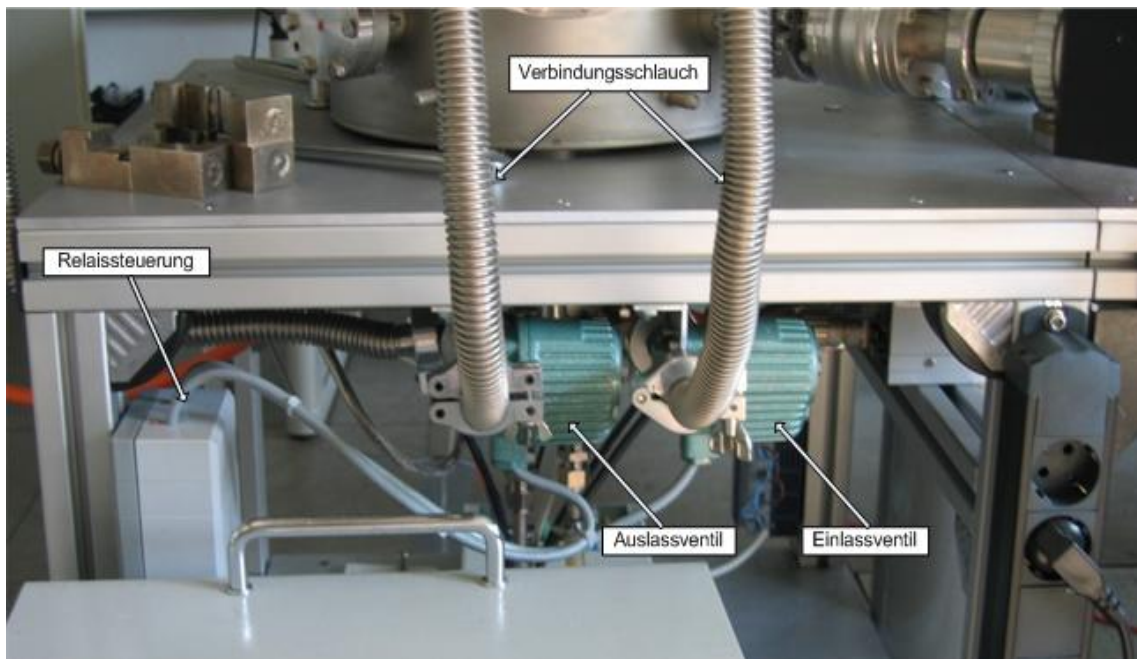


Abbildung 18: elektromagnetische Vakuumventile

## 10 Labview

LABVIEW ist eine in der Mess- und Automatisierungstechnik angewandte Programmierumgebung. Es wird zur Verarbeitung von Messdaten und der Steuerung von Messgeräten verwendet. Das Erstellen von Programmen wird unter der grafischen Programmiersprache „G“ durchgeführt und arbeitet nach dem Datenfluss-Prinzip.

Die Abkürzung steht für **L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench und wurde erstmals 1986 für Macintosh angeboten. Heute kann es auch auf Windows, Solaris und Linux angewendet werden. Labview-Programme werden aus Virtuellen Instrumenten (VI) aufgebaut und verfügen über eine Benutzerschnittstelle, das Frontpanel, und ein Blockdiagramm mit dem grafischen Programmiercode, welcher zur Ausführung compiliert wird. [14]

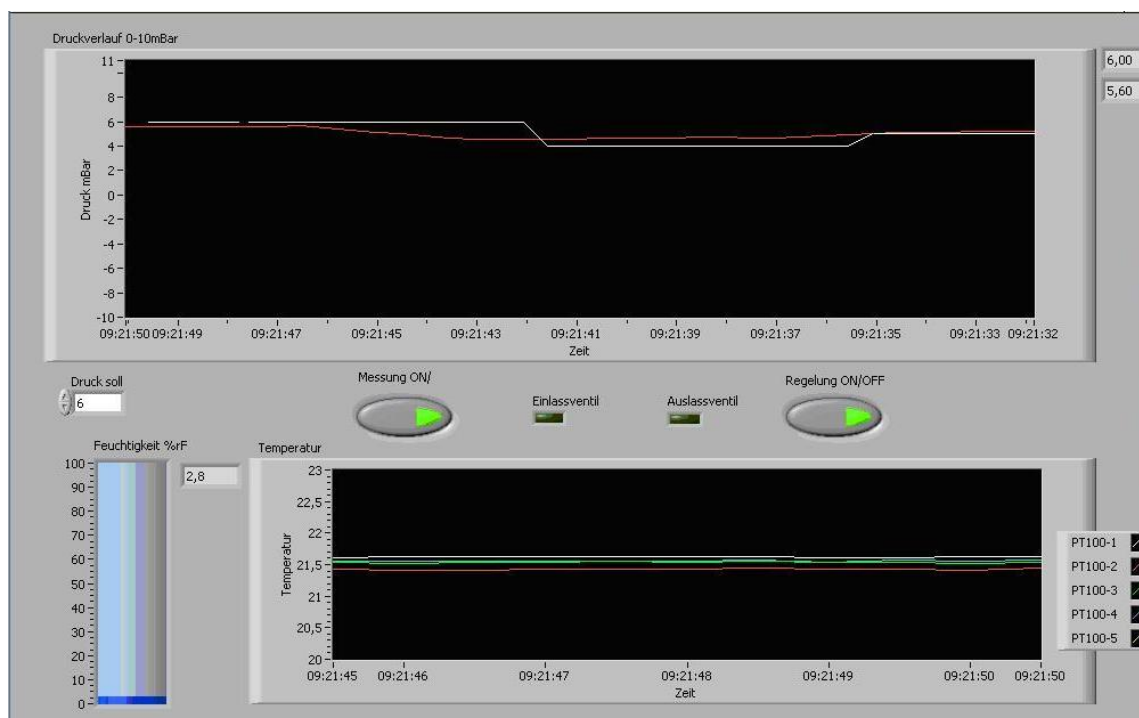


Abbildung 19: Benutzerschnittstelle Frontpanel

## 10.1 Programmiersprache

Ein LABVIEW-Programm besteht aus Funktionsblöcken, die als Virtuelles Instrument (VI) bezeichnet werden. Dadurch kann auch jedes Programm als Unterprogramm verwendet werden. Die VIs werden durch Verbindungsdrähte miteinander verbunden und kennzeichnen so den Datenfluss. Jeder Funktionsblock wird erst dann abgearbeitet, sobald alle Eingangsdaten vorliegen, bzw. werden erst Daten an den Ausgang weitergegeben, wenn alle Unterprogrammschritte abgearbeitet sind. LABVIEW besitzt keine festgelegte Abarbeitungsreihenfolge, denn es besitzt eine Datenabhängigkeit.

## 10.2 Datenkommunikation

Die Datenkommunikation zwischen der Marssimulationsanlage und dem Steuerrechner mit der Labview Programmierumgebung erfolgt über ein Datenerfassungsmodul der Firma *National Instruments*. Das DAQPad-6015 verfügt über 16 Analogeingänge mit einer 16 Bit Auflösung, sowie zwei Analogausgängen, über die die Vakuumventile angesteuert werden. Zusätzlich ist es noch mit 8 Digital-I/O-Eingängen und einer externen Spannungsversorgung versehen. Der Anschluss an den Steuerrechner erfolgt über eine Universal Serial Bus (USB) Schnittstelle.

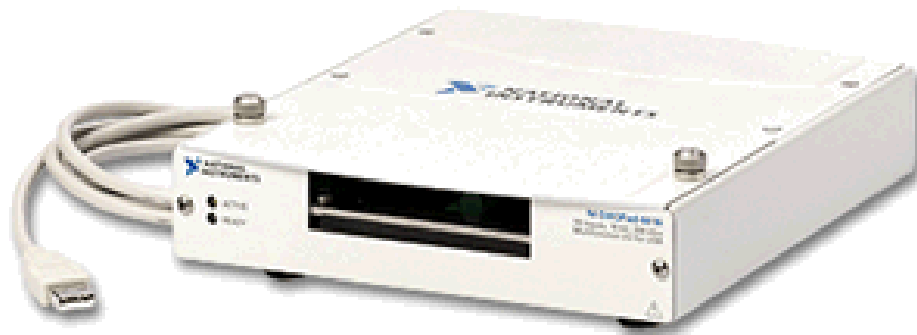


Abbildung 20: NI DAQPad 6015 [15]

Das DAQPad-6015 lässt sich als Dateneingang in die Labview Programmierung einbinden, Befehle werden über einen Funktionsblock an die Datenerfassungskarte weitergegeben. Die 5 Pt-100 Widerstandsthermometer, die sich im Innern der Experimentierkammer befinden, werden über die Analogeingänge AI 0 bis AI 4 eingelesen. Der Feuchtesensor ist an den Eingang AI 5 angebunden, das Differenzdruckmessgerät wird über AI 6 ausgelesen. An den zwei Analogausgängen sind das Einlassventil (AO 1) und das Auslassventil (AO 0) angeschlossen. Über den mitgelieferten Treiber können die einzelnen Ausgänge konfiguriert werden. Das DAQPad bietet die Möglichkeit, die Eingänge bereits zu Beginn auf den jeweiligen Datentyp einzustellen. So sind bereits vorgefertigte Funktionsblöcke für Druckaufnehmer, Thermoelemente, Widerstandsthermometer sowie für Spannung-, Strom- und Frequenzmessung integriert. Dies erleichtert die Anbindung an den Messaufbau und erspart die langwierige Umwandlung und Umformatierung der Datenströme.

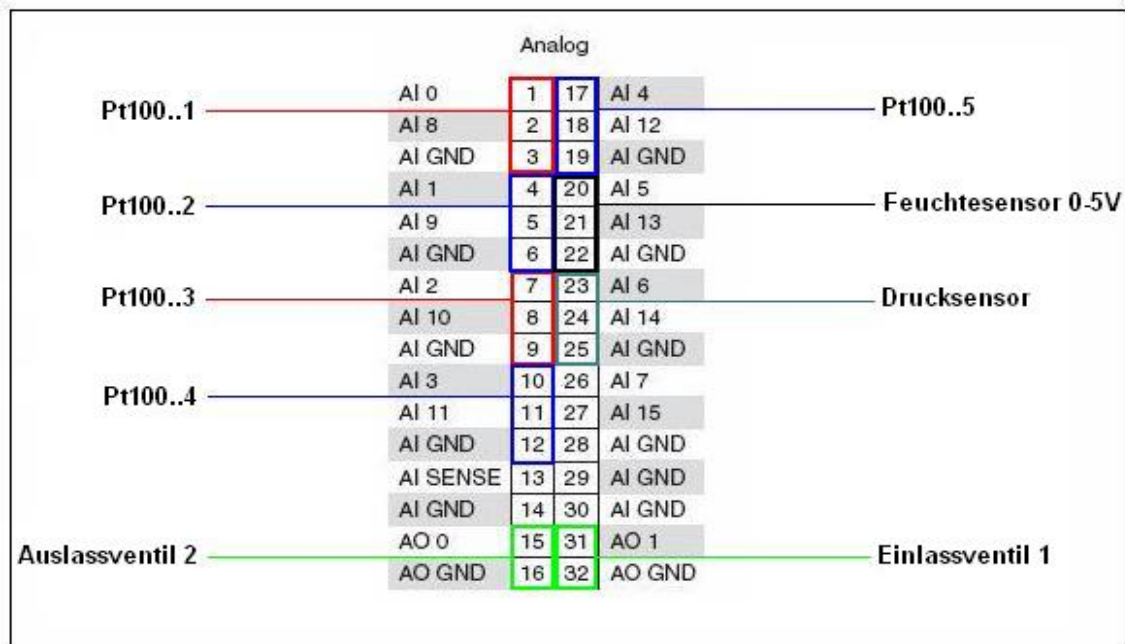


Abbildung 21: NI DAQPad 6015 Anschlussbelegung [15]

### 10.3 Regelung

Das Regel- und Datenerfassungsprogramm zur Steuerung der Marssimulationsanlage basiert auf dem Vergleich von voreingestellten Regelparametern mit den durch das DAQPad aufgenommenen Messwerten. Hierbei wird das aufgenommene Drucksignal, das den Bereich von 0-10 mbar abdeckt, vom DAQPad an die Regelung weitergegeben und verarbeitet. Der Druckbereich wird in ein proportionales Datensignal von 0-10 Volt umgewandelt, das somit direkt verarbeitet werden kann. Um kleinere Messwertschwankungen zu minimieren, wird das eingelesene Drucksignal gemittelt. Dies bedeutet, dass ein Filter aus drei eingelesenen Signalen einen Mittelwert bildet. Das gemittelte Drucksignal wird mit dem eingestellten Solldruck verglichen. Übersteigt die gemessene Differenz einen einstellbaren Schwellwert, so wird über den jeweiligen Analogausgang der Datenerfassungskarte das Ein- bzw. Auslassventil angesteuert. Der Einlass- oder Abpumpvorgang bleibt so lang aktiv, bis der eingestellte Toleranzbereich und der Solldruck erreicht ist. Beide Bedingungen müssen erfüllt werden, um zu verhindern, dass die Schaltvorgänge unverzüglich nach dem Unterschreiten der Toleranzschwelle beendet werden, da dies zu einem „Flattern“ um einen Schwellwert führen würde (Abbildung 23). Die aktive Druckregelung kann vom Bedienpanel (Abbildung 19) aus unterbrochen werden, so dass lediglich nur noch Messwerte eingelesen und abgebildet werden können. Der Soll- sowie der Istdruck werden am Bedienpanel in einem Graphen angezeigt, zwei optische Anzeigen geben den Schaltzustand der Vakuumventile wieder.

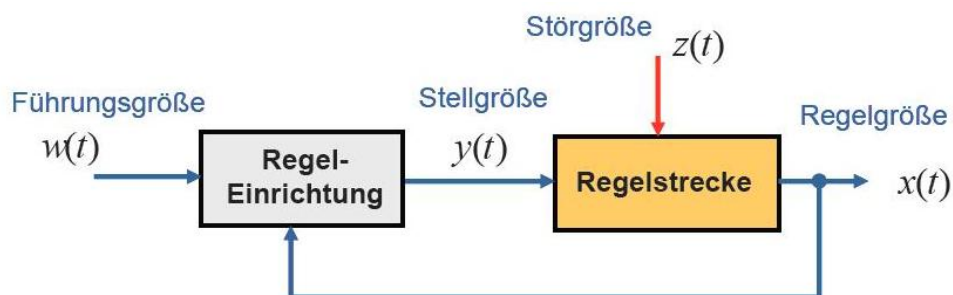
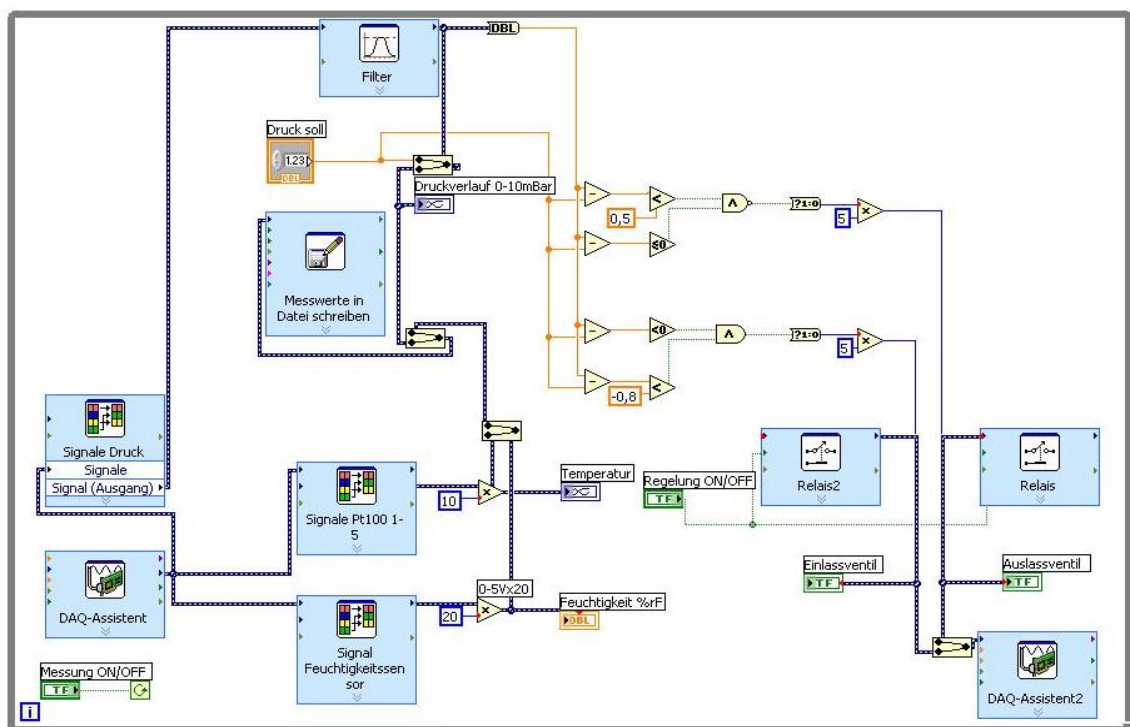


Abbildung 22: einfache Regelstrecke

Zusätzlich zu der Druckregelung besteht ebenfalls noch die Möglichkeit Druckverläufe, die denen auf der Marsoberfläche ähnlich sind, einzubinden. Hierzu besteht die Möglichkeit, die gewünschten Druckänderungen und die Zykluszeiten in eine Excel-Tabelle einzutragen und vom Labview-Programm einlesen zu lassen. Der Druckverlauf wird dann zum eingestellten Sollwert hinzuaddiert und an die Regelung weitergegeben. Dadurch ist gewährleistet, dass die Marssimulationsanlage auch über einen längeren Zeitraum hinweg autonom arbeiten kann.

Neben dem Druck im Innern der Simulationskammer werden zusätzlich noch der Feuchtegehalt der Atmosphäre und die Signale der 5 Pt-100 von der Programmierumgebung ausgelesen und am Bedienpanel angezeigt. Das Hygrometer verfügt über einen Messbereich von 0 bis 100%rF und gibt das Messergebnis über einen Analogausgang durch ein Spannungssignal von 0-5 Volt aus. Somit ist es notwendig, das eingelesene Analogsignal mit dem Multiplikator 20 zu verrechnen, um es in einem Graphen mit einer 0-100%rF Skalierung abzubilden.



### Abbildung 23: Programmebene

Alle Messwerte, die das Programm einliest, werden zur Protokollierung und Versuchsauswertung tabellarisch in eine separate Exceldatei geschrieben. Damit kann man im Nachhinein den gesamten Versuchsablauf nachvollziehen und bewerten.

## 11 Validierung

Zur Validierung der Experimentierkammer wurden mit der LABVIEW-Regelung Druckzyklen verfahren, die den Tag/Nacht-Schwankungen auf dem Mars entsprechen. Dazu wurden in einer Excel-Datei Druckschwankungen im Bereich von  $\pm 3$  mbar vorgegeben, die in einem Zeitintervall von 600 Sekunden wechseln. Diese Werte werden zu dem voreingestellten Druck von 6 mbar hinzuaddiert. Während der Versuchsdauer von 80 Minuten wurden 8 Druckänderungen verfahren. Obwohl für zukünftige Experimente wesentlich längere Zyklen geplant sind, zeigt dieser Versuch exemplarisch die Möglichkeiten der gesamten Druckregelung und dient als Referenz.

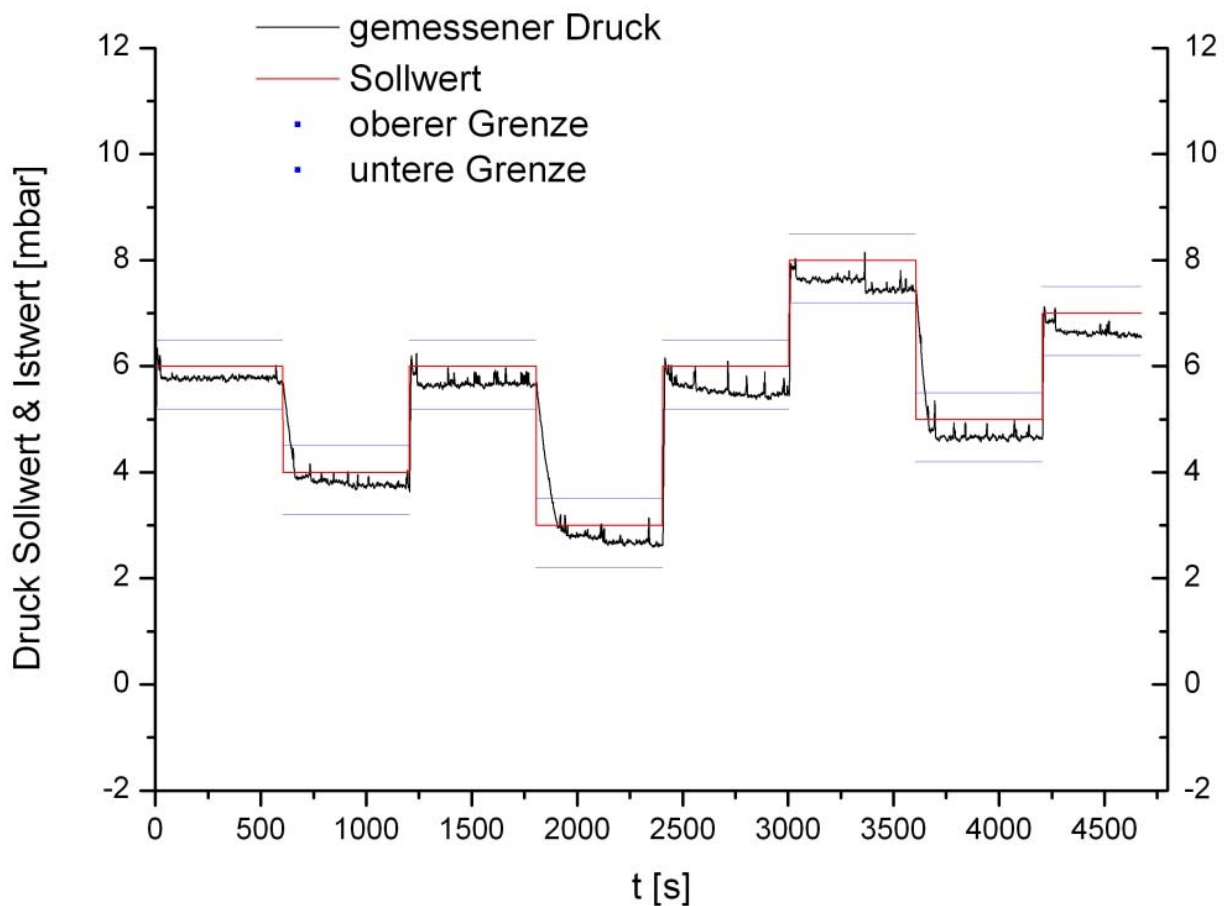


Abbildung 24: verfahrene Druckzyklen



Das Diagramm zeigt den eingestellten Solldruck, sowie den gemessenen Istdruck in der Kammer.

Erkennbar ist, dass der eingestellte Druck während der jeweiligen Zykluszeit nicht den Toleranzbereich über- bzw. unterschreitet sich jedoch geringfügig unterhalb des Sollwertes einpendelt.

Zusätzlich zur Validierung der Verfahrbarkeit der Druckzyklen wurde noch eine Dichtigkeitsprüfung vorgenommen. Hierzu wurde über die Druckregelung ein Atmosphärendruck von 6 mbar eingestellt und anschließend die Regelung abgestellt. Über eine Dauer von 9 Stunden wurde nun lediglich der Istdruck in der Anlage aufgezeichnet.

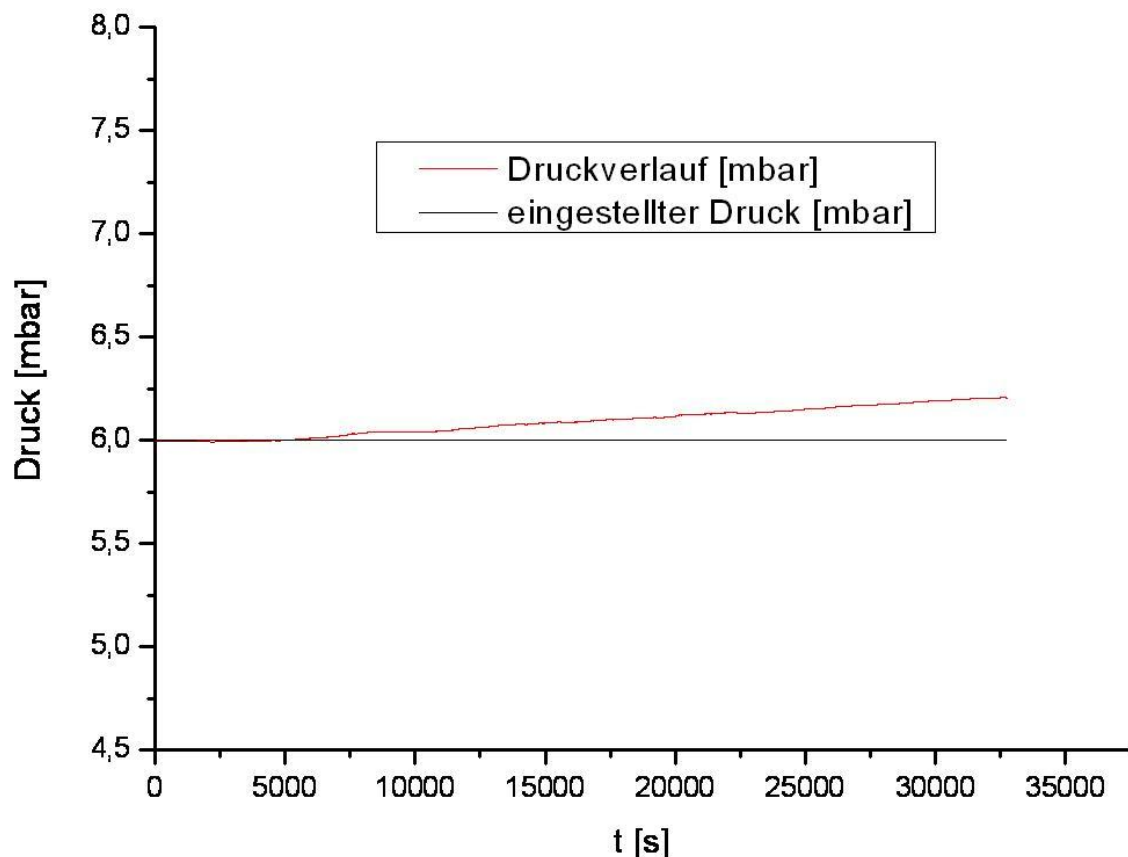


Abbildung 25:Dichtigkeitsprüfung

Erkennbar ist ein leichter Druckanstieg von 0,2 mbar über die gesamte Versuchsdauer. Eine Erklärung hierfür ist eine Undichtigkeit am Feuchtesensor, welche bereits im Auslieferungszustand vorhanden war.

## 12 Ausblick

Die auf der Erde unter extremen Umweltbedingungen aktiv lebenden Mikroorganismen sind, wie beschrieben, sehr verschiedenartig, jedoch herrschen nicht alle diese Umweltbedingungen gleichzeitig an einem Standort auf der Erde. Zusätzlich sind von den bereits bekannten Mikroorganismen nur ein Bruchteil im Labor kultivierbar. Deshalb müssen aus den verschiedenen xerophilen, kryophilen, strahlenresistenten, kultivierbaren (fakultativen) Anaerobiern möglichst geeignete Stämme für die geplanten Experimente ausgewählt werden: Zum einen muss der Stoffwechsel dieser Stämme mit heute verfügbaren Analysemethoden nachweisbar sein, und zum anderen muss deren Untersuchung unter Laborbedingungen in einem absehbaren Zeitraum möglich sein. Gemeinschaften aus Mikroorganismen sind oft resistenter gegenüber extremen Umweltbedingungen als Reinkulturen. Ihre Handhabung im Labor ist jedoch deutlich schwieriger, wie auch der Nachweis von möglichen Veränderungen in ihrer Zusammensetzung. Dennoch sind auch Mischkulturen nicht grundsätzlich als mögliche geeignete Testobjekte auszuschließen.

Die Konzentrationen, in denen die zu untersuchenden Gase/Stoffwechselprodukte vorliegen, bewegen sich durch erste Schätzungen im Bereich von wenigen ppm (parts per million  $1:10^6$ ) bis hin zu wenigen ppb (parts per billion  $1:10^9$ ) und können sogar bis in den ppt-Bereich (parts per trillion  $1:10^{12}$ ) reichen.

Die Entwicklung von hochgenauen Spurengasdetektoren ist seit langer Zeit Gegenstand der Forschung. Es gibt unterschiedliche Ansätze, sich der Fragestellung zu nähern. Auf der einen Seite können chemische Eigenschaften der Gase untersucht werden, andererseits können physikalische Eigenschaften für einen Nachweis herangezogen werden.

Das in dieser Arbeit aufgebaute System wird sich eher auf den Nachweis mittels physikalischer Eigenschaften stützen, obwohl auch chemische Verfahren zu diesem Zeitpunkt als unterstützende Methoden nicht auszuschließen sind.

Einen Kernpunkt der Analysetechniken dieser Arbeit werden voraussichtlich die spektroskopischen Methoden darstellen. Spektroskopie wird hierbei als ein Sammelbegriff für unterschiedliche Analyseverfahren verstanden. Im Fokus der Spektroskopie stehen die Untersuchungen elektromagnetischer Wellen, wobei in erster Linie die Wechselwirkungen von elektromagnetischer Strahlung mit Materie untersucht werden. In den letzten Jahren ist vor allem die Laserspektroskopie immer populärer geworden. Sie zeichnet sich unter anderem durch sehr hohe Präzision und Messungen mit geringer zeitlicher Auflösung aus.

Bei den meisten laserspektroskopischen Verfahren wird das mit dem Laser zu untersuchende Atom oder Molekül von einem niedrigeren Energieniveau auf ein höheres Niveau angehoben, wobei die Energiedifferenz der beiden Niveaus gerade der Energie der Laserstrahlung entspricht. Dadurch wird ein Teil der Strahlung absorbiert. Wird diese Absorption mit einem Detektor gemessen, so wird dieser Vorgang Absorptionsspektroskopie genannt. Aus der Stärke der Absorption kann auf die Anzahl der Moleküle geschlossen werden, und die Frequenz, bei der das Licht absorbiert wird, lässt Rückschlüsse über die Molekülart. Durch einen schnellen Austausch der Gasprobe in der Nachweiszelle, wird es ermöglicht Konzentrationsänderungen mit einer hohen Zeitauflösung von wenigen Sekunden zu beobachten.

Das angeregte Atom oder Molekül fällt danach auf ein niedrigeres Energieniveau zurück, wobei in zufälliger Richtung Strahlung ausgesandt wird. Strebt man die Detektion sowie die Analyse dieser emittierten Strahlung an, so wird diese Art der Untersuchung Emissionsspektroskopie genannt.

Die Möglichkeiten der Massenspektrometrie als allein genutztes Verfahren müssen im weiteren Verlauf dieser Arbeit detaillierter untersucht werden. Ein Ergebnis bereits durchgeführter Voruntersuchungen hat ergeben, dass sich durch das eingesetzte Mischgas (Mars-Atmosphäre) eine Überlagerung der Fragmentverteilung mit den zu untersuchenden Stoffwechselprodukten ergeben könnte. Als erste Näherung bzw. Beispiel wurde Methan als potenzielles Stoffwechselprodukt herangezogen.

Auch die vorhandenen Druckverhältnisse lassen die Massenspektrometrie an ihre technischen Grenzen in Bezug auf die Genauigkeit der Messungen im ppb-Bereich bei Mischgasen stoßen.

In Kombination mit Gas-Chromatographie erhält die Massenspektrometrie jedoch eine wesentlich größere Bedeutung.

Die Gaschromatographie ist eine sehr wirksame Methode zur Trennung und Identifizierung von komplexen Verbindungen und Stoffgemischen. Die Kopplung mit einem Massenspektrometer als Detektor erhöht die Genauigkeit der Identifizierung um ein Vielfaches und umgeht die wesentlichen Unwägbarkeiten, welche die Massenspektrometrie als alleiniges Verfahren aufweisen würde. Dieses gekoppelte Analyseverfahren zählt heutzutage zusammen mit der Laserspektroskopie zu den modernsten und genauesten Technologien der Spurengasanalyse.

Welche Methode und Technologie sich letztendlich durchsetzt, wird sich allerdings erst im weiteren Verlauf dieser Arbeit im Zuge der Auswahl von geeigneten Mikroorganismen und deren spezifischen Stoffwechselprodukten ergeben. Zu dem jetzigen Zeitpunkt kann auch eine Kombination aus verschiedenen Verfahren nicht ausgeschlossen werden.

Zur Unterstützung der biologischen Arbeiten stehen in der Abteilung Strahlenbiologie mehrere Standard-Mikrobiologie-Labors sowie eine Anaerobier-Werkbank zur Verfügung. Kooperationen z. B. mit dem Archaeenzentrum in Regensburg bestehen bereits.

## **13 Anhang A Arbeitsanweisung**

### **QMH ME**

#### **Arbeitsanweisung**

### **Nutzung der Marssimulationskammer MASIMKA**

**DOKUMENT NR.:** QMH-ME-  
**AUSGABE:** 1  
**DATUM:** 03.06.2008

**ERSTELLT:** \_\_\_\_\_  
03.06.2008, D. HEUSKIN (ME)

**GEPRÜFT:** \_\_\_\_\_  
DATUM, DR.E. RABOW (ME)

## Inhaltsverzeichnis

<b><u>1</u></b>	<b><u>Zweck</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>Geltungsbereich</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>3</u></b>	<b><u>Begriffe und Abkürzungen</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>4</u></b>	<b><u>Verfahren</u></b> .....	<b>3</b>
4.1	<u>Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen</u> .....	3
4.2	<u>Betrieb der Marssimulationsanlage MASIMKA</u> .....	3
4.1.1	<u>Öffnen des Rezipienten</u> .....	3
4.1.2	<u>Bestückung mit Prüfgut</u> .....	4
4.1.3	<u>Schließen des Rezipienten</u> .....	4
4.1.4	<u>Abpumpen des Rezipienten</u> .....	4
4.1.5	<u>Versuchsbeendigung</u> .....	4
<b><u>5</u></b>	<b><u>Mitgeltende Anlagen</u></b> .....	<b>4</b>
<b><u>6</u></b>	<b><u>Änderungsdienst</u></b> .....	<b>4</b>

## Zweck

Diese Arbeitsanweisung beschreibt die Nutzung des Hochvakuum-Pumpstands, MASIMKA, zur Simulation von Weltraum- und Planetenbedingungen

## Geltungsbereich

PEA □ des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin des DLR, Geb. 24

## Begriffe und Abkürzungen

AA	Arbeitsanweisung
BA	Bedienungsanleitung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
MA	Mitarbeiter
ME	Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin
PEA □	Bereich □ der Planetary and Space Simulation Facilities

## Verfahren

Die Marssimulationsanlage darf nur von eingewiesenem Laborpersonal im Bereich des PEA □, das mit dieser AA völlig vertraut ist, benutzt werden.

### 4.1 Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen

Die Standardvorschriften zur Arbeitssicherheit im Labor sind zu berücksichtigen. Dazu zählt das Tragen von Schutzbrillen, fettfreien Silikon- oder Baumwollhandschuhen und geeigneter Laborkleidung. Bei der Nutzung der Marssimulationsanlage muss der Anwender mit dem System vertraut sein und die verschiedenen Einbau- und Einstellungsmöglichkeiten kennen. Nach Beendigung des Versuches muss auf Ordnung und Sauberkeit am Arbeitsplatz geachtet werden.

### 4.2 Betrieb der Marssimulationsanlage MASIMKA

#### Zulässige Prüflinge

Es sind nur Prüflinge erlaubt, die nicht toxisch, radioaktiv oder ätzend sind. Darüber hinaus sollen die Prüflinge frei von Öl und Fett sowie ausgasenden Materialien sein.

#### 4.1.1 Öffnen des Rezipienten

##### 4.1.1.1 Vorbereitung

Externe Geräte abstellen:

Bevor das Kammergehäuse geöffnet wird muss sichergestellt sein, dass

- die dazugehörigen Vakuumpumpen abgestellt und zum Stillstand gekommen sind
- der angeschlossene Kryostat abgestellt oder der Durchfluss von Kühlmittel vom Kryostaten zum Rezipienten geschlossen ist

#### **4.1.1.2 Den Rezipienten belüften (falls noch mit Unterdruck beaufschlagt)**

Dazu

- das Hauptventil zur Turbopumpe öffnen
- das Belüftungsventil seitlich an der Vorpumpe öffnen

Wenn der Druckausgleich erreicht ist (an der Druckanzeige erkennbar),

- das Hauptventil zur Turbopumpe schließen
- das Belüftungsventil seitlich an der Vorpumpe schließen

#### **4.1.2 Bestückung mit Prüfgut**

Das Prüfgut und die Innenseite der Kammer dürfen nicht mit öl- oder fetthaltigen Materialien verunreinigt sein/werden.

Beim Einsetzen des Prüflings in die Kammer darauf achten, dass nicht die Dichtflächen am Flansch oder Deckel der Kammer verkratzt oder verschmutzt werden.

Prüfling so befestigen oder auf die Kaltwand legen, dass kein Ansaugen in die Pumpe möglich ist.

#### **4.1.3 Schließen des Rezipienten**

- Darauf achten, dass sich keine Kabel oder Leitungen zwischen den Dichtflächen befinden, die ein vollständiges Schließen behindern

#### **4.1.4 Abpumpen des Rezipienten**

- Versichern, dass das Handventil zur Turbopumpe geöffnet ist
- Pumpstand konform der Gerätebedienungsanleitung starten

#### **4.1.5 Versuchsbeendigung**

- Siehe 4.1.1.

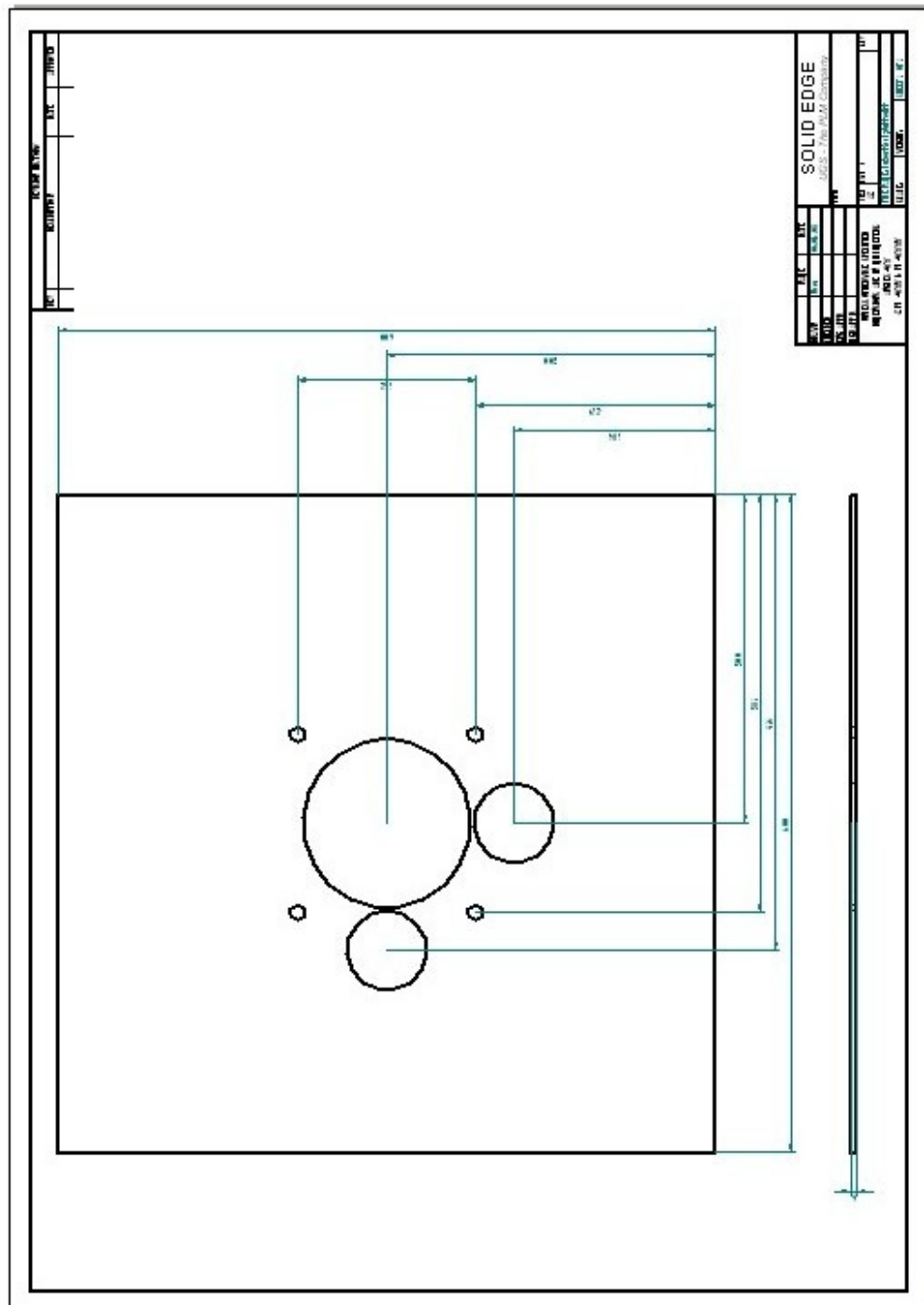
### **Mitgeltende Anlagen**

### **Änderungsdienst**

Für die Weiterentwicklung und Pflege dieser AA ist der Laborleiter zuständig.



## 14.1 Konstruktionszeichnungen



### Abbildung 26: Obere Labortischplatte



## 14.2 Elektrische Schaltpläne

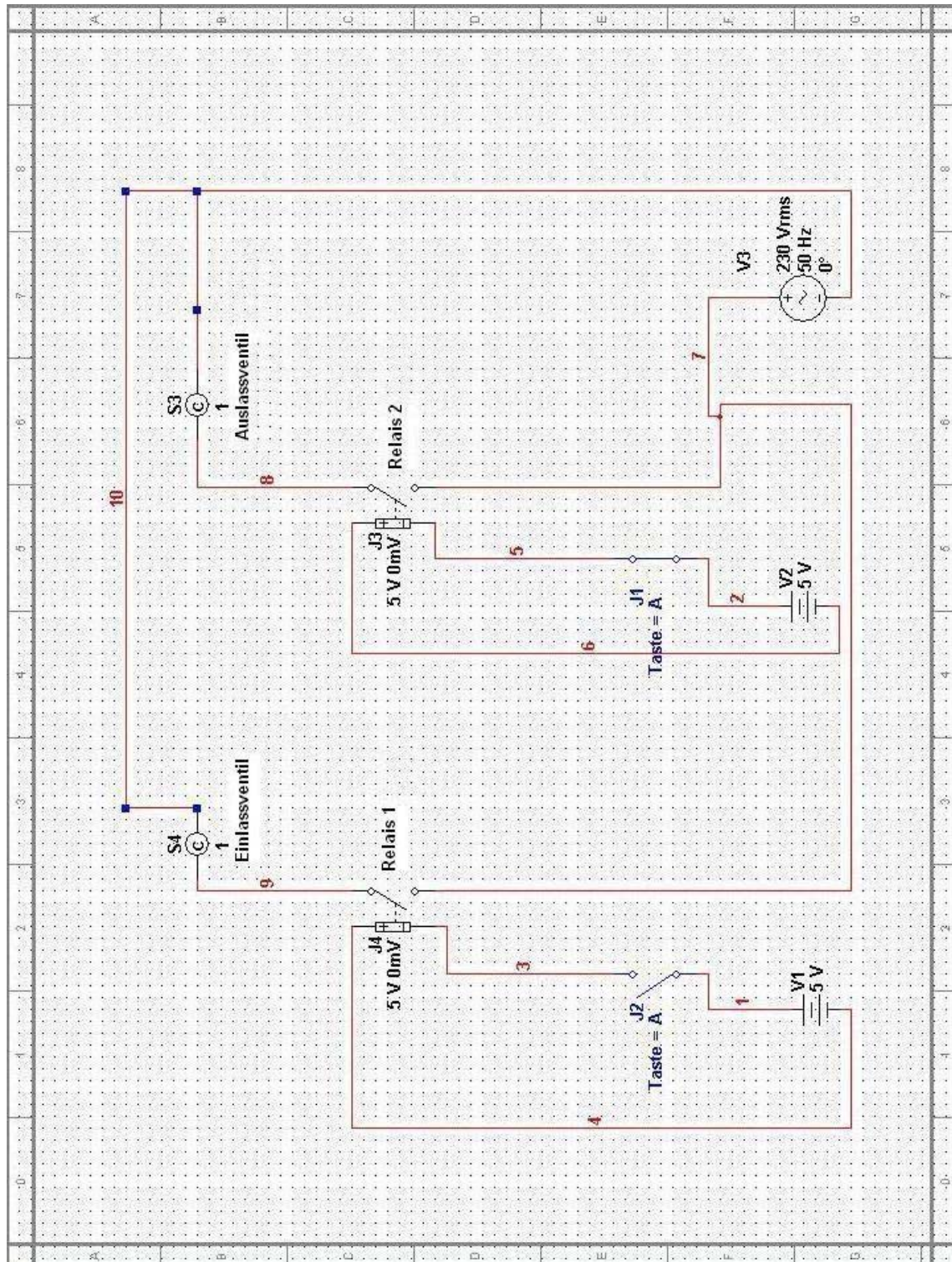


Abbildung 28: Relaissteuerung

### **14.3 Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)**

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrtagentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Das DLR beschäftigt ca. 5600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, es unterhält 28 Institute bzw. Test- und Betriebseinrichtungen und ist an 13 Standorten vertreten: Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Köln, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Das Forschungs- und Entwicklungsbudget des DLR beläuft sich auf 450 Millionen Euro. Das DLR verwaltet ebenfalls das deutsche Weltraumbudget, welches sich auf 760 Millionen Euro beläuft.

Der Forschungsauftrag des DLR umfasst:

- Das Planen deutscher Weltraumaktivitäten;
- Die Durchführung der deutschen Weltraumflugprogramme;
- Die Vertretung der Interessen der deutschen Weltraumgemeinschaft auf internationaler Ebene;
- Die Erforschung von Erde und Sonnensystem,
- Die Forschung für den Erhalt der Umwelt,
- Die Entwicklung umweltverträglicher Technologien zur Steigerung der Mobilität sowie für Kommunikation und Sicherheit.

Durch die Zusammenarbeit mit Hochschulen, Regierungsstellen und Flugzeugherstellern lenkt das DLR diese Ziele zum Erfolg.

## 15 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der flüssige Kern des Mars in einer Simulation der NASA [4]..	5-14
Abbildung 2: Ein im Frühling vom Hubble Teleskop aufgenommenes Bild [4] .....	5-15
Abbildung 3: Der Felsgürtel am Marsäquator [4].....	5-16
Abbildung 4: Kanäle auf der Marsoberfläche zeigen das Vorhandensein von Wasser in der Vergangenheit. [4].....	5-17
Abbildung 5: Marssimulationskammer .....	6-20
Abbildung 6: Funktionsdiagramm der Experimentierkammer.....	7-22
Abbildung 7: Leybold Turbovac TW 300H [7].....	7-24
Abbildung 8: Leybold Scroll Vorvakuum pumpen [7].....	7-25
Abbildung 9: Atmion Wide Range Manometer[8] .....	7-26
Abbildung 10: Baratron 626 [9].....	7-28
Abbildung 11: Betriebsgerät PR 4000 F [9] .....	7-29
Abbildung 12: Pt100 Dünnschichtsensor[10] .....	7-30
Abbildung 13: JUMO DTrans T04 Messumformer[11] .....	7-31
Abbildung 14: Solid Edge Entwurf des Temperiermantels .....	7-32
Abbildung 15: Tripelpunkt des Wassers [12].....	8-36
Abbildung 16: EE08 Hygrometer [13].....	8-38
Abbildung 17: Wasserreservoir .....	8-39
Abbildung 18: elektromagnetische Vakuumventile.....	9-41
Abbildung 19: Benutzerschnittstelle Frontpanel .....	10-42
Abbildung 20: NI DAQPad 6015 [15].....	10-43
Abbildung 21: NI DAQPad 6015 Anschlussbelegung [15].....	10-44
Abbildung 22: einfache Regelstrecke.....	10-45
Abbildung 23: Programmebene.....	10-46
Abbildung 24: verfahrenene Druckzyklen.....	11-48
Abbildung 25:Dichtigkeitsprüfung.....	11-49

---

Abbildung 26: Obere Labortischplatte .....	14-57
Abbildung 27: Temperierspirale .....	14-58
Abbildung 28: Relaissteuerung .....	14-59

## 16 Literaturverzeichnis

- [1] European Space Agency. (1999). Exobiology in the Solar System & The Search for Life on Mars. ESA Publications Division, Noordwijk
- [2] Microbiology and Molecular Biology Reviews (2000). Resistance of Bacillus Endospores to Extreme Terrestrial and Extraterrestrial Environments. p. 548-572, Vol. 64, No. 3. 1092-2172/00/\$04.00+0
- [3] Roberts, D. (1998). Eukaryotes in extreme environments. Online in Internet: <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/projects/euk-extreme/>
- [4] National Aeronautics and Space Administration NASA Mars Fact Sheet <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planets/marspage.html>
- [5] NASA. (2003). Astrobiology Roadmap. Online at: <http://astrobiology.arc.nasa.gov/roadmap/index.html>
- [6] [www.neunplaneten.de/nineplanets/nineplanets.html](http://www.neunplaneten.de/nineplanets/nineplanets.html)
- [7] Leybold Vacuum [www.oerlikon.com/leyboldvacuum/de/](http://www.oerlikon.com/leyboldvacuum/de/)
- [8] Vacom Vakuumtechnik [www.vacom.de/de/aktion/sub\\_front\\_007.php](http://www.vacom.de/de/aktion/sub_front_007.php)
- [9] MKS Instruments <http://www.mksinst.com/product/category.aspx?categoryID=72>
- [10] ALPHATEMP Technology LTD <http://www.k-instruments.co.uk/index.html>
- [11] JUMO Mess- und Regeltechnik <http://www.jumo.de/>
- [12] Biologie freie Enzyklopädie <http://www.biologie.de/biowiki/Wasser>
- [13] E+E Elektronik <http://www.epluse.com/>
- [14] National Instruments <http://www.ni.com/labview/d/>
- [15] National Instruments <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fr/nid/14041>
- [16] NASA. Planetary Protection – Methods. Online at: <http://planetaryprotection.nasa.gov/pp/methods/> (2005-12-11)

## 17 Formelverzeichnis

Formel 1: Zustandgleichung für ideale Gase [13].....	8-34
Formel 2: Gesamtdruck eines Atmosphäremisches [13].....	8-34
Formel 3: Wassersättigungsdampfdruck über Wasser [13].....	8-35
Formel 4: Wassersättigungsdampfdruck über Eis [13].....	8-35
Formel 5: Taupunkt von Wasser bei Normaldruck [13] .....	8-36
Formel 6: Frostpunktemperatur von Wasser unter Normaldruck [13].....	8-36
Formel 7: relative Gasfeuchte [13] .....	8-37
Formel 8: Massekonzentration [13] .....	8-37
Formel 9: Volumenkonzentration [13] .....	8-37